

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2000-509150

(P2000-509150A)

(43)公表日 平成12年7月18日(2000.7.18)

| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テーマコード [*] (参考) |
|--------------------------|-------|---------|--------------------------|
| G 0 1 B | 11/24 | G 0 1 B | 11/24 K |
| | 11/00 | | 11/00 H |
| G 0 1 C | 11/00 | G 0 1 C | 11/00 |
| G 0 6 F | 17/50 | G 0 6 F | 15/60 6 2 4 A |
| G 0 6 T | 7/00 | | 15/62 4 1 5 |
| | | 審査請求 | 未請求 予備審査請求 有 (全189頁) |

(21)出願番号 特願平9-538308
(86)(22)出願日 平成9年4月24日(1997.4.24)
(85)翻訳文提出日 平成10年10月26日(1998.10.26)
(86)国際出願番号 PCT/US 97/06793
(87)国際公開番号 WO 97/40342
(87)国際公開日 平成9年10月30日(1997.10.30)
(31)優先権主張番号 08/638,961
(32)優先日 平成8年4月24日(1996.4.24)
(33)優先権主張国 米国(US)
(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, L U, MC, NL, PT, SE), CA, JP, US

(71)出願人 サイラ・テクノロジーズ・インク
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94621、オークランド、キャプウェルドラ
イブ 8000
(72)発明者 カサイラ、ベン・ケイ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94563、オリンダ、タッパン・レーン 240
(72)発明者 ディムスデイル、ジェリー
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94704、パークレイ、バーカー・ストリー
ト 2233
(74)代理人 弁理士 山崎 行造 (外2名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 三次元目的物をイメージ化しかつモデル化するための統合装置

(57)【要約】

三次元対象のモデルを生成する統合装置である。走査レーザー装置はその三次元対象を走査してポイントクラウドを生成する。そのポイントクラウドの各部分は対象の表面上の対応する点の位置を示す。第1のモデルが発生され、それは点クラウドに応答し、対象の構成的幾何学的図形を表す第1のモデルを生成する。データファイルが発生され、それは第1のモデルに応答し、CADシステムに入力することができる。

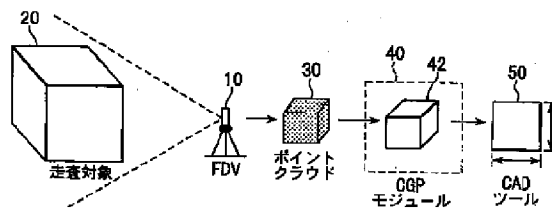


Figure 1

【特許請求の範囲】

1. 三次元シーンのモデルを生成する統合装置であって、
三次元シーンを走査して点暗影を生成する走査レーザー装置であって、前記点暗影が複数のデータ点からなり、該複数のデータ点の各々が前記シーンの表面上の対応する点の位置を表す走査レーザー装置と、
前記点暗影に応答して前記シーンの構成要素の幾何学的形状を表す第1モデルを生成する手段とを備える装置。
2. 請求項1の装置において、さらに、前記第1のモデルに応答してデータファイルを生成する手段を備え、該データファイルは計算機援用設計（CAD）装置への入力に適する装置。
3. 請求項2の装置において、さらに、前記CAD装置の実行を開始し、さらに、前記データファイルを前記CAD装置に入れる手段を備える装置。
4. レーザー出力の走査を要求する装置で使用するために、前記レーザーからの出力パルスのタイミングを制御する方法であって、各出力パルスがポンプパルスに응答して生成される方法において、
前記パルスの開始と関連する出力パルスの次の発生との間の時間遅延を監視する工程と、
前記監視された時間遅延に基づいて、次のポンプパルスの発生と関連する出力パルスとの間の時間遅延を予測する工程と、
ビームの走査の間の前記レーザー出力の適切な配置ができる時間に前記出力パルスが生成されることを保証するように選択された時間で次のポンプパルスを開始する工程とを含む方法。
5. シーン内で三次元特徴を表す複数の点暗影から、前記シーン内の所望の特徴を表す前記点の下位集団をマニュアルで分離する方法において、
前記所望の特徴を表す少なくともいくつかのデータ点を含むすべての点暗影を選択する工程と、
前記暗影のビューを変更し、多角形の投げ縄を描いて、選択された下位集団の点をより精密にして、点の下位の暗影に含まれるようにする工程とを含む

む方法。

6. シーンの走査フィールドを、前記シーン内の異なる表面を表す下位集合の点に自動的に分割する方法であって、

前記走査フィールドを、前記シーン内の表面の走査点に関する深さ情報を含む深さグリッドと、前記表面の走査点への法線の予測を含む垂直グリッドとに分離する工程と、

前記深さグリッドの深さ情報を巻き込んで深さ比率画像を生成し、該画像の値が前記シーン内での一つの走査点から他の走査点深さの変化の傾きを表す工程と、

前記垂直グリッドの構成要素を巻き込んで前記垂直グリッドの各点ごとの各構成要素に関してスカラー値を生成する工程と、

前記垂直グリッドの各点ごとに、前記特定の点の構成要素に関するスカラー値からその点における法線の傾斜を決定し、前記垂直グリッドの前記点に関して決定された前記傾斜は垂直比率の画像を集团的に構成する工程と、

前記深さ比率画像を帰納的しきい値方法を用いて二値の深さ画像に変換する工程と、

前記垂直比率画像を帰納的しきい値方法を用いて二値の垂直画像に変換する工程と、

前記二値の深さ画像と前記二値の垂直画像とを組合せて単一の端部画像を決定する工程と、

前記シーンの対応する表面になじむように端部でない点の下位の集団をグループ化する工程とを含む方法。

7. 請求項6の方法において、さらに、最初に各グループの点を最善のものとする幾何原図の種類を決定する工程と、前記幾何原図を前記データ点に適合させる工程とを含む方法。

8. 請求項7の方法において、さらに、前記シーンの隣り合う平面領域を交差する工程を含む方法。

9. コーナーを表す点暗影を正しい位置に当てはめる方法であって、

前記点暗影の点への3つの平面の適合を決定し、モデルのために平面を作

る工程と、

対の平面のの交点にある3つのラインを決定し、前記モデルのためのラインを作る工程と、

前記3つの面の交点の頂点を決定し、前記モデルのための頂点を作る工程とを含む方法。

10. 三次元シーンをモデル化する方法において、

各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、

表面法線予測及びグローバル誤差最少化法を用いて一群の点に対する円筒の最善の適合を決定する工程とを含む方法。

11. 三次元のシーンをモデル化する方法であって、

各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、

二次曲面及びグローバル誤差最少化法を用いて一群の点に対する円筒の最善の適合を決定する工程とを含む方法。

12. 三次元のシーンをモデル化する方法であって、

各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、

二次曲面及びグローバル誤差最少化法を用いて一群の点に対する球面の最善の適合を決定する工程とを含む方法。

13. 三次元のシーンをモデル化する方法であって、

各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、

一群の点に対する二次曲面の最善の適合を決定する工程と、

二次曲面の最善の適合によって描かれる複数のファミリーのどの幾何原図が前記一群の点と適合するのかを決定する工程とを含む方法。

14. 同一の種類の2つの幾何原図を併合してその種類の単一の幾何原図を形成する方法であって、

前記2つの原図の各々を最初に適合するために用いた点を組合せることによって新たなグループの点を作る工程と、

適当な適合方法及び元の図の各々からの点を持つ新たに生成された点のグループを用いて新たな幾何原図を適合する工程とを含む方法。

15. 複数の点及び幾何原図からなるとともに第1座標系を持つ第1のモデル

と、複数の点及び幾何原図からなるとともに第2座標系を持つ第2のモデルとを記録する方法であって、

第1及び第2のシーンの共通する特徴をユーザーが特定する工程と、

前記特定に応答し、座標系の変換を特定する工程と、

前記第2のモデルの対象を変換してそれらが前記第1の座標系を用いるようにする工程とを備える方法。

16. 複数の点暗影及び幾何原図によって表された1又は2以上のモデルを選択する工程と、

多数の点又は幾何原図の位置上の制約を特定する工程と、

各ビューの点及び幾何原図を取り囲む人為的な値を作り、機械的な材面特性を前記取り囲む値に割り当てる工程と、

前記取り囲む値内の材料に関し最少のエネルギー構成を計算する工程であって、点又は幾何原図が埋め込まれていて前記構成がすべて適用された制約を満たす工程と、

材料の前記囲む値の最少のエネルギー構成にしたがって前記点及び原図を置き換える工程とを含むワープ方法。

17. 請求項16の方法において、前記構成が閉鎖誤差を取り除くように特定されている方法。

18. 三次元シーンのモデルを発生する統合装置であって、

パルスレーザーを用いて三次元のシーンを走査する走査レーザー装置であって、光パルスが各パルス内で $0.2\mu\text{J}$ までを持ち1ナノ秒より短く持続し、30 psec又はそれ未満の解像度で、各出力パルスとシーンの表面から戻る対応するパルスとの間の時間遅延を測定し、該走査レーザー装置がさらに走査の間に前記ビームの角度的方位を追跡して測定する走査レーザー装置と、

前記測定された時間遅延と角度測定値に基づいて点暗影を生成し、該点暗影が、各々が前記表面上の対応する点の位置を表す複数の点からなる手段とを備える装置。

19. レーザーから出力されたパルスのフライト時間の監視を要求する装置内

で測定電子機器の較正を行う装置であって、

一方の端部が前記レーザーの出力パルスを受け取り、既知の長さを持つシングルモードの光ファイバーと、

前記パルスが前記ファイバーを出る時を監視する前記ファイバーの一方の端部に配置された検出器であって、それに応答して信号を発生し、該信号が前記測定電子機器を通過するような検出器と、

前記ファイバーを出るパルスの検出に基づいて前記ファイバーの理論的長さを計算し、その計算された長さを前記ファイバーの既知の長さと比較して前記測定電子機器を較正するプロセッサとを備える装置。

20. 請求項19の装置において、前記光ファイバーはその各端部に部分反射器を備え、前記ファイバーに入る各レーザーパルスごとにパルス列が前記ファイバーを出、前記パルス列は前記測定電子機器をさらに較正するために用いられる装置。

21. 請求項20の装置において、さらに遅延測定電子回路を備えており、前記パルス列はそれらの間に一定の遅延を持ち、それによって、前記パルス列の監視は前記遅延電子回路を較正するために用いることができる装置。

22. 請求項21の装置において、さらに前記検出器によって監視されるパルスのパワーを変える手段を備えており、前記検出器は、前記検出された光のパワーが既定のしきい値を越えると信号を生成するように機能し、前記プロセッサは、前記出力パルスのパワーの関数として、前記検出器によって出力された信号の発生の遅延の変化を追跡するように機能し、前記プロセッサは、さらに、フライトの時間を監視するために用いられる連続パルスの測定パワーに基づいて前記遅延の測定を較正するように機能する装置。

23. 三次元の対象の表面点についての位置情報を得る装置であって、

出力ビームを発生するレーザーと、

前記対象の上を前記レーザービームを移動させる走査装置と、

前記レーザービームの反射の測定に基づいて前記対象までの距離を自動的に測定する監視装置であって、前記レーザービームの角度的位置も追跡及び測定し、さらに、最大100メートルの範囲にわたる1つの標準的な偏差に

おける6ミリメートルと等しいかそれより良いような三次元空間内の各点ごとの位置の精度を持つ監視装置とを備える装置。

24. 請求項23の装置において、各距離測定は0.005秒下で行うことができる装置。

25. 請求項23の装置において、前記レーザーはパルス出力を生成し、パルスごとのエネルギーは0.2マイクロジュールより小さく、さらに、前記レーザーの平均出力パワーはわずかに1.0ミリワットである装置。

26. 対象までの距離を測定する装置であって、

出力パルスのレーザーを生成するレーザーと、

レーザービームの反射に基づいて前記対象までの距離を測定する監視装置であって、最大100メートルのその全体の範囲にわたる1つの標準的な偏差における6ミリメートルと等しいかそれより良い精度を持ち、各測定は0.005秒より短い時間で行うことができ、さらに、前記レーザーは0.2マイクロジュールだけのパルスごとのエネルギーと1ミリワットだけの平均出力とを持つ装置。

27. 請求項26の装置において、前記対象は逆反射体を持ち、前記作動の範囲は最大1マイルである装置。

28. 遠隔の対象から三次元情報を捕捉する装置において、

前記対象の位置情報を測定するための走査レーザーモジュールと、

前記対象からの画像情報を捕捉するビデオモジュールと、

前記位置情報及び前記画像情報を含む前記対象のモデルを与えるプロセッサとを備える装置。

29. 請求項28の装置において、前記ビデオ画像情報は、位置情報の測定と空間的に同時に収集される装置。

30. 請求項29の装置において、前記ビデオ画像情報は、位置情報が得られる点に隣接する点から収集される装置。

31. 三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、

対象についての三次元位置情報を測定する走査モジュールと、

前記対象から画像情報を捕捉及び表示するビデオモジュールと、

前記走査及びビデオモジュールによって作動し、前記ビデオモジュールによって捕捉された前記画像情報を用いて、目標追跡の際に、前記走査モジュールを援助することができるようになるプロセッサとを備える装置。

- 3 2. 請求項3 1の装置において、前記プロセッサは、目標とされる領域のビデオ画像の上のアウトラインの画像をドラッグすることによって、前記走査モジュールによって目標追跡される対象の一部を特定するように機能する装置。

- 3 3. 三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、
対象に関する三次元の位置情報を測定する走査モジュールと、
該走査モジュールから得られた画像情報を表示するビデオモジュールと、
前記走査及びビデオモジュールによって作動し、前記ビデオモジュールによって表示された前記画像情報を用いて、前記走査モジュールの目標追跡をより詳細に行えるようにするプロセッサとを備える装置。

- 3 4. 三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、
対象に関する三次元の位置情報を測定し、また、可視放射線のビームを出力するレーザーを備える走査モジュールと、
該走査モジュールを制御するプロセッサであって、前記レーザービームはマニュアルによって配置することができ、それにより、可視ビームが該プロセッサからの制御信号に応答して走査すべき対象の一部を目標とするプロセッサとを備える装置。

- 3 5. 対象までの距離を測定するために用いられるレーザーによって生成された光ビームにおける周波数の変化を監視することを要求する装置において測定電子機器を較正する装置であって、

前記レーザーから光を受け取るように配置された一方の端部を持つシングルモードの光ファイバと、

前記ファイバーを通過して移動するとともにそれから出る光を、前記ファイバーを通して移動しない前記レーザーからの光を組合せて受け取るように配置された検出器と、

該検出器によって測定された周波数の変化の均一性に基づいてビーム上の

線形性を決定し、さらに、結果を用いて前記測定電子機器を較正するプロセ

ッサとを備える装置。

36. 請求項35の装置において、前記ファイバーは既知の長さを持ち、又、該ファイバーは一方の端部に部分反射器を持ち、他方の端部には少なくとも部分反射器を持ち、前記ファイバー内を移動しなかった前記ファイバーの一方の端部から反射された光が前記検出器によって測定され、前記プロセッサは、
- 前記検出器によって測定された周波数変化に基づいて前記ファイバーの理論的長さを計算するように機能し、さらに、その計算された長さを前記ファイバーの既知の長さと比較して前記測定電子機器を較正する装置。

【発明の詳細な説明】**三次元目的物をイメージ化しかつモデル化するための統合装置****技術分野**

本願発明は、概略、三次元における対象の幾何学的図形及びその他の特性を示す装置に関し、特に、走査ライダー（距離認定レーザー）を利用して、対象の表面上の選択された点の三次元空間内の位置を迅速かつ正確に検知し、それによって、選択された点の検知された位置を表すポイントの集団（又は点暗影、ポイントクラウド）を生成する装置に関し、その装置はその点暗影内の点のグループによって表された幾何学的形状を認識し、それらの幾何学的形状を表すモデルを生成する。そのモデルはコンピュータ援用設計（C A D）ツール（従来のC A Dツールを含む）によって用いることのできる別のモデルに変換することができる。

背景

複雑な現実の物体（小さな機械的部品のような小さな構成要素か建物や用地のような大きな対象）の幾何図形（形状、寸法及び配置）及び他の特性（例えば、色彩、質感及び反射強度）を測量することは、従来から単調なことで、時間がかかる方法であった。つまり、そのような測定は伝統的に手で行われていた。さらに、それらの測定を図面又はコンピュータモデルに変換することは、手による製図又は図面若しくはコンピュータモデルの製作のためのC A D装置への入力が必要であった。

最近、その工程を簡略化するために技術革新が努力されている。しかし、全て、完全な統合、自動化、正確性、速度及び距離を達成するには足りない。例えば、建設業界では、構造の測量は従来から3つの基本的なステップが必要である。つまり、

1. 現場データの収集
2. データの縮小及び準備
3. 製図及びC A D

現場データ収集のステップは、壁、天井、梁、柱、扉、窓、取付け具、パイプ、導管及び器具のような構造物の適切な構成要素の寸法を手で測定かつ記録する

測量士のチームによって実行されている。測量士は、その構成要素の幾何図形のみならずその構造内のその構成要素の相対位置を決定しようとする。測量士は現場でデータをノートブックに記録する。現場で収集されたデータはまとめられて、テーブル及びまとめられたスケッチに変形され、C A Dオペレータ又はドラフターはそれらのテーブルを用いて最終的な図面又はモデルを作る。

そのプロセスは、かなり苦勞し、時間を消費し、さらに誤差を生じ易い。加えて、従来からの測量方法を用いると、実際に測定することのできる点の数は非常にかぎられている。それは、時間及び労働で表される各点を捕捉する高いコストのためである。さらに、色彩、質感及び他の特性の情報の取得が望まれているのであれば、さらに現場でノードをとらなければならない(例えば、さらに写真及びビデオ)。最近現場での作業は電子セオドライトに取り付けられたレーザー距離測定装置を用いることによって幾分か自動化された。正確な反射目標(逆反射)が、測定が望まれている対象の位置に配置されている。次に、レーザー距離測定装置がその器具と目標との間の正確な測定を得る。セオドライトは、所定の座標系に対する点までの水平及び垂直の角度のオフセットの正確な指示を提供する。その距離及び角度のデータは、その器具に接続された磁気装置に自動的に記録されるか、又はその器具内部でその器具の軸線に対するデカルト座標に変換される。その手続は、次に、対象の所望の数の点をマップ化するのに必要な数だけ繰り返される。その収集された座標データは、C A D装置に直接にプロットすることができる。

残念ながら、そのプロットは対象の幾何図形を表示しないので、ほとんど実用的ではない。さらに、手で配置しなければならない逆反射器を必要し、さらに、レーザー距離測定器が必要とする読み込みごとに比較的長い時間がかかるので、最大量の対象を説明するために十分な点を集めることは非常に勞力が要り、時間がかかり、さらに誤差が生じ易い。

他の公知の現場でのデータ収集のプロセスは、立体写真法及び連続の写真測量法を用いる。つまり、対象の立体的に見える画像が得られ、最終的な立体写真は、

手走査で又はコンピュータ化された技術を用いて記録されて、各々の写真が得られた時のカメラの写真の平面位置の相対的位置が再生される。そのデータの削減及び準備段階は特別に教育されたオペレータによってて走査で実行される。特に、特別に取り付けた立体視野レンズを援用する場合には、オペレータは十分な数の点の座標をデジタル化し、それにより、立体写真法を用いて対象を明確にすることができる。また、そのデジタル化されたデータはC A D装置に入力されるか、又は、手で紙の上に描かれる。

概要

本願発明は、三次元シーンのモデルを生成する統合装置である。走査レーザー装置が、三次元シーンを走査して点暗影を生成する。その点暗影の点の各々は表面上の対応する点の位置を表す。第1モデルが生成され、それは、点暗影に応答してシーンの構成要素の幾何学的形状を表す。データファイルが生成され、それは、第1のモデルに応答し、計算機援用設計（C A D）装置に入力することができる。

本願発明は、さらに、レーザー出力の走査を要求する装置で使用するために、レーザーからの出力パルスのタイミングを制御する方法であって、各出力パルスがポンプパルスに응答して生成される方法において、パルスの開始と関連する出力パルスの次の発生との間の時間遅延を監視する工程と、監視された時間遅延に基づいて、次のポンプパルスの発生と関連する出力パルスとの間の時間遅延を予測する工程と、ビームの走査の間のレーザー出力の適切な配置ができる時間に前記出力パルスが生成されることを保証するように選択された時間で次のポンプパルスを開始する工程とを含む方法を含む。

本願発明は、さらに、シーン内で三次元特徴を表す複数の点暗影から、シーン内の所望の特徴を表す点の下位集団をマニュアルで分離する方法において、所望の特徴を表す少なくともいくつかのデータ点を含むすべての点暗影を選択する工程と、暗影のビューを変更し、多角形の投げ縄を描いて、選択された下位集団の点をより精密にして、点の下位の暗影に含まれるようにする工程とを含む方法を含む。

本願発明は、さらに、シーンの走査フィールドを、シーン内の異なる表面を表す下位集合の点に自動的に分割する方法であって、走査フィールドを、シーン内の表面の走査点に関する深さ情報を含む深さグリッドと、表面の走査点への法線の予測を含む垂直グリッドとに分離する工程と、深さグリッドの深さ情報を巻き込んで深さ比率画像を生成し、画像の値がシーン内での一つの走査点から他の走査点深さの変化の傾きを表す工程と、垂直グリッドの構成要素を巻き込んで垂直グリッドの各点ごとの各構成要素に関してスカラー値を生成する工程と、垂直グリッドの各点ごとに、特定の点の構成要素に関するスカラー値からその点における法線の傾斜を決定し、垂直グリッドの点に関して決定された傾斜は垂直比率の画像を集団的に構成する工程と、深さ比率画像を帰納的しきい値方法を用いて二値の深さ画像に変換する工程と、垂直比率画像を帰納的しきい値方法を用いて二値の垂直画像に変換する工程と、二値の深さ画像と前記二値の垂直画像とを組合せて単一の端部画像を決定する工程と、シーンの対応する表面になじむように端部でない点の下位の集団をグループ化する工程とを含む方法を含む。

その方法は、さらに、最初に各グループの点を最善のものとする幾何原図の種類を決定する工程と、幾何原図を前記データ点に適合させる工程と、シーンの隣り合う平面領域を交差する工程を含む。

本願発明は、さらに、コーナーを表す点暗影を正しい位置に当てはめる方法であって、点暗影の点への3つの平面の適合を決定し、モデルのために平面を作る工程と、対の平面のの交点にある3つのラインを決定し、モデルのためのラインを作る工程と、3つの面の交点の頂点を決定し、モデルのための頂点を作る工程とを含む方法を含む。

本願発明は、三次元シーンをモデル化する方法において、各点がシーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、表面法線予測及びグローバル誤差最少化法を用いて一群の点に対する円筒の最善の適合を決定する工程とを含む方法を含む。

本願発明は、三次元のシーンをモデル化する方法であって、各点がシーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、二次曲面及びグローバル誤差最少化法を用いて一群の点に対する円筒の最善の適合を決定する工程とを含む方法を含

む。

本願発明は、三次元のシーンをモデル化する方法であって、各点がシーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、二次曲面及びグローバル誤差最少化を用いて一群の点に対する球面の最善の適合を決定する工程とを含む方法を含む。

本願発明は、三次元のシーンをモデル化する方法であって、各点がシーンの表面上の点を表す複数の点を生成する工程と、一群の点に対する二次曲面の最善の適合を決定する工程と、二次曲面の最善の適合によって描かれる複数のファミリーのどの幾何原図が前記一群の点と適合するのかを決定する工程とを含む方法を含む。

本願発明は、さらに、同一の種類 of 2つの幾何原図を併合してその種類の単一の幾何原図を形成する方法であって、2つの原図の各々を最初に適合するために用いた点を組合せることによって新たなグループの点を作る工程と、適当な適合方法及び元の図の各々からの点を持つ新たに生成された点のグループを用いて新たな幾何原図を適合する工程とを含む方法を含む。

本願発明は、さらに、複数の点及び幾何原図からなるとともに第1座標系を持つ第1のモデルと、複数の点及び幾何原図からなるとともに第2座標系を持つ第2のモデルとを記録する方法であって、第1及び第2のシーンの共通する特徴をユーザーが特定する工程と、特定に応答し、座標系の間の変換を特定する工程と、第2のモデルの対象を変換してそれらが前記第1の座標系を用いるようにする工程とを備える方法を含む。

本願発明は、さらに、複数の点暗影及び幾何原図によって表された1又は2以上のモデルを選択する工程と、多数の点又は幾何原図の位置上の制約を特定する工程と、各ビューの点及び幾何原図を取り囲む人為的な値を作り、機械的な材面特性を前記取り囲む値に割り当てる工程と、取り囲む値内の材料に関し最少のエネルギー構成を計算する工程であって、点又は幾何原図が埋め込まれていて前記構成がすべて適用された制約を満たす工程と、材料の前記囲む値の最少のエネルギー構成にしたがって前記点及び原図を置き換える工程とを含むワープ方法を含む。後者の方法においては、構成は閉鎖誤差を取り除くように特定されている。

本願発明は、さらに、三次元シーンのモデルを発生する統合装置であって、パルスレーザーを用いて三次元のシーンを走査する走査レーザー装置であって、光パルスが各パルス内で $0.2\mu\text{J}$ までを持ち1ナノ秒より短く持続し、30 psec又はそれ未満の解像度で、各出力パルスとシーンの表面から戻る対応するパルスとの間の時間遅延を測定し、該走査レーザー装置がさらに走査の間にビームの角度的方位を追跡して測定する走査レーザー装置と、測定された時間遅延と角度測定値に基づいて点暗影を生成し、該点暗影が、各々が前記表面上の対応する点の位置を表す複数の点からなる手段とを備える装置を含む。

本願発明は、さらに、レーザーから出力されたパルスのフライト時間の監視を要求する装置内で測定電子機器の較正を行う装置であって、一方の端部が前記レーザーの出力パルスを受け取り、既知の長さを持つシングルモードの光ファイバーと、パルスが前記ファイバーを出る時を監視するファイバーの一方の端部に配置された検出器であって、それに応答して信号を発生し、該信号が前記測定電子機器を通過するような検出器と、ファイバーを出るパルスの検出に基づいて前記ファイバーの理論的長さを計算し、その計算された長さを前記ファイバーの既知の長さと比較して前記測定電子機器を較正するプロセッサとを備える装置を含む。

光ファイバーはその各端部に部分反射器を備え、ファイバーに入る各レーザーパルスごとにパルス列が前記ファイバーを出、パルス列は測定電子機器をさらに較正するために用いられる。

その装置はさらに遅延測定電子回路を備えており、パルス列はそれらの間に一定の遅延を持ち、それによって、パルス列の監視は遅延電子回路を較正するために用いることができる。

その装置はさらに検出器によって監視されるパルスのパワーを変える手段を備えており、検出器は、検出された光のパワーが既定のしきい値を越えると信号を生成するように機能し、プロセッサは、出力パルスのパワーの関数として、検出器によって出力された信号の発生の遅延の変化を追跡するように機能し、プロセッサは、さらに、フライトの時間を監視するために用いられる連続パルスの測定パワーに基づいて前記遅延の測定を較正するように機能する。

本願発明は、さらに、三次元の対象の表面点についての位置情報を得る装置であって、出力ビームを発生するレーザーと、対象の上を前記レーザービームを移動させる走査装置と、レーザービームの反射の測定に基づいて対象までの距離を自動的に測定する監視装置であって、レーザービームの角度的位置も追跡及び測定し、さらに、最大100メートルの範囲にわたる1つの標準的な偏差における6ミリメートルと等しいかそれより良いような三次元空間内の各点ごとの位置の精度を持つ監視装置とを備える装置を含む。

各距離測定は0.005秒下で行うことができる。レーザーはパルス出力を生成し、パルスごとのエネルギーは0.2マイクロジュールより小さく、さらに、レーザーの平均出力パワーはわずかに1.0ミリワットである。

本願発明は、さらに、対象までの距離を測定する装置であって、出力パルスのレーザーを生成するレーザーと、レーザービームの反射に基づいて対象までの距離を測定する監視装置であって、最大100メートルのその全体の範囲にわたる1つの標準的な偏差における6ミリメートルと等しいかそれより良い精度を持ち、各測定は0.005秒より短い時間で行うことができ、さらに、前記レーザーは0.2マイクロジュールだけのパルスごとのエネルギーと1ミリワットだけの平均出力とを持つ装置を含む。その対象は逆反射体を持ち、作動の範囲は最大1マイルである。

本願発明は、さらに、遠隔の対象から三次元情報を捕捉する装置において、対象の位置情報を測定するための走査レーザーモジュールと、対象からの画像情報を捕捉するビデオモジュールと、位置情報及び前記画像情報を含む対象のモデルを与えるプロセッサとを備える装置を含む。

ビデオ画像情報は、位置情報の測定と空間的に同時に収集される。ビデオ画像情報は、位置情報が得られる点に隣接する点から収集される。

本願発明は、さらに、三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、対象についての三次元位置情報を測定する走査モジュールと、対象から画像情報を捕捉及び表示するビデオモジュールと、走査及びビデオモジュールによって作動し、ビデオモジュールによって捕捉された画像情報を用いて、目標追跡の際に、走査モジュールを援助することができるようになるプロセッサとを備え

る装置を含む。プロセッサは、目標とされる領域のビデオ画像の上のアウトラインの画像をドラッグすることによって、走査モジュールによって目標追跡される対象の一部を特定するように機能する。

本願発明は、さらに、三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、対象に関する三次元の位置情報を測定する走査モジュールと、走査モジュールから得られた画像情報を表示するビデオモジュールと、走査及びビデオモジュールによって作動し、ビデオモジュールによって表示された画像情報を用いて、走査モジュールの目標追跡をより詳細に行えるようにするプロセッサとを備える装置を含む。

本願発明は、さらに、三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、対象に関する三次元の位置情報を測定し、また、可視放射線のビームを出力するレーザーを備える走査モジュールと、走査モジュールを制御するプロセッサであって、レーザービームはマニュアルによって配置することができ、それにより、可視ビームが該プロセッサからの制御信号に応答して走査すべき対象の一部を目標とするプロセッサとを備える装置を含む。

対象までの距離を測定するために用いられるレーザーによって生成された光ビームにおける周波数の変化を監視することを要求する装置において測定電子機器を校正する装置であって、レーザーから光を受け取るように配置された一方の端部を持つシングルモードの光ファイバと、ファイバーを通過して移動するとともにそれから出る光を、前記ファイバーを通して移動しない前記レーザーからの光を組合せて受け取るように配置された検出器と、検出器によって測定された周波数の変化の均一性に基づいてビーム上の線形性を決定し、さらに、結果を用いて前記測定電子機器を校正するプロセッサとを備える装置を含む。

ファイバーは既知の長さを持ち、又、ファイバーは一方の端部に部分反射器を持ち、他方の端部には少なくとも部分反射器を持ち、ファイバー内を移動しなかったファイバーの一方の端部から反射された光が検出器によって測定され、プロセッサは、検出器によって測定された周波数変化に基づいてファイバーの理論的長さを計算するように機能し、さらに、その計算された長さをファイバーの既知の長さと比較して測定電子機器を校正する。

図面の簡単な説明

図1は、本願発明の一実施例に係る装置のブロック図である。

図1Aは、目的物を走査し、捕捉点を組織化し、幾何学的形状をその組織化された点に適合させ、その適合された幾何学的形状を操作し、さらに、最終的な操作済みの幾何学的形状を表示するために、本願発明の一実施例をどのように使用するのかを示す全体的な流れを示す。

図2は、図1の装置のより詳細なブロック図である。

図3及び図3Aは、図1の装置のFDVの地形的配置を示すとともに、そのFDVがフォーク取付台にどのように接続されているかを示す。

図4は、図1の装置のFDVに関する座標の例を示す。

図5は、本願発明に係るFDVの一実施例のブロック図である。

図6は、図5のFDVの光トランシーバのブロック図である。

図6Aは、図6に示すスキャナの二重ミラーの構成を示す。

図7はレーザーの一実施例を示すブロック図である。

図7Aは、図6に示すビーム伸長器の一実施例のブロック図である。

図8は、送受切換器の一実施例を示す。

図8Aは、部分反射の送受切換器を示す。

図9は、図8の送受切換器のウインドウの一実施例を示す。

図10は、FDVのDSPによって実行される演算を示すフローチャートである。

図11A及び図11Bは、それぞれ、一方向走査パターン及び双方向走査パターンを示す。

図12は、FDVプロセッサの一実施例のブロック図である。

図13は、FDVミラーの所望の一を決定するための回路例のブロック図である。

図14は、図12に示すタイミング回路の信号の条件付け及びエネルギー統合回路例のブロック図である。

図15は、図1の装置の詳細なブロック図である。

図16は、CGPを操作するために用いられる2つのウインドウを示す。

図17は、目標ボックス及び点暗影を示す。

図18は、馬の彫刻からの点暗影を示す。

図19は、レーザー反射強度を用いて色割当てされた図18の点暗影を示す。

図20は、コーナーの特徴からの点暗影を示す。

図21は、図20の点暗影とマニュアル分割のために用いられる多角形の投げ縄とを示す。

図22は、4つのサブグループ、面の表面上の3つのサブグループ及び面の一部ではないエッジ点のサブグループに分割された図20の点暗影を示す。

図23は、三角形メッシュのように描かれた図20の点暗影を示す。

図24は、面が暗影点のグループに適合する、図20のコーナー特徴を示す。

図25は、シリンダーの表面からの点暗影を示す。

図26は、図25に示された点に適合したシリンダーの原線を示す。

図27は、配管装置の表面からの点暗影を示す。

図28は、図27に示す点に適合したシリンダー原線を示す。

図29は、パイプを延長し、曲がり部を加えた後の完成した配管モデルを示す。

。

図30は、コーナー適合、3面、3線及び頂点を与えた結果を示す。

図31は、ある場面におけるシリンダー原線を示す。

図32は、隣り合う目的物と一致するために延長された図31からのシリンダーを示す。

図33は、様々な目的物からの表面からの点暗影を示す。

図34は、図33に示す点に適合した原線を含むモデルを示す。

図35は、周波数調整可能なレーザーの構成を示す。

図36は、従来のFMチャープライダー (chirp lidar) のブロック図を示す。

。

図37は、自己較正のFMチャープライダーのブロック図を示す。

図38は、大及び小のパルスが既定のしきい値と交差する時点の相対的タイミングを示す。

図39は、パルスエネルギーを測定するための一つの回路を示す。

図40は、パルスエネルギーを測定するための他の回路を示す。

詳細な説明

A 概観

1. 装置の全体

図1は、本願発明の最も広い観点からの本願発明を示すブロック図である。図1を参照すると、視野デジタル映像(FDV)モジュール10が、目的物20を走査し、その目的物20の表面上の選択された点の三次元空間における位置を検知するための走査センサを備える。FDVモジュール10は、選択された点の検知された位置を表す点暗影30を生成する。点暗影30は、反射率、表面の色及び質感のような検知された点の他の特徴も表す。

コンピュータグラフィクス認識(CGP)モジュール40は、FDVと相互に作用し合つて、FDVモジュール10のセンサのために制御及び目標捕捉機能を提供する。さらに、その点暗影を用いると、CGPモジュール40は、点暗影30内の点の集まりによって表された幾何学的形状を認識し、CGPモジュールは、それらの幾何学的形状を表すCGPモデル42を生成する。CGPモデル42から、CGPモジュール40が、電算機援用設計(CAD)ツール50によって用いることのできる別のモデルを生成する。そのCADツールは従来のものでよい。

図1Aは、目的物を走査し、捕捉点を組織化し、幾何学的形状をその組織化された点に適合させ、その適合された幾何学的形状を操作し、さらに、最終的な操作済みの幾何学的形状を表示するために、本願発明の一実施例をどのように使用するのかを示す全体的な流れを示す。

2. FDVモジュールの全体

図2を参照すると、FDV10が走査レーザー装置(ライダー)210を備えており、そのライダーは目的物20の点を走査し、さらに、各走査点の三次元空間における位置を正確に表すライダーデータ信号を発生する。走査点のまとまりに対するライダーデータ信号は、集散的に点暗影30を構成する。加えて、望ましくは広角及び狭角の両方のCCDカメラを備えるビデオ装置220が提供され

る。ビデオ装置220の広角CCDカメラは、目的物20のビデオ画像を捕捉し、

FDV10の制御／インタフェースモジュール230を経由してCGP40に、その捕捉ビデオ画像を表す信号を提供する。

その捕捉ビデオ画像を表す信号に関するユーザーの入力に応答して、CGP40は、制御／インタフェースモジュール230を経由して、ライダー210に走査制御信号を提供して、目的物20の表面上のどの点をライダー210が走査するのかを制御する。特に、CGP40から提供された走査制御信号は、ライダー210のレーザービームの操縦を行うために、正確かつ反復可能なビーム操縦機構を制御する。

さらに、ビデオ装置220の狭角CCDカメラは、質感及び色彩情報を捕捉し、その捕捉した情報をCGP40に提供する。

3. CGPモジュールの概観

さらに、図2を参照すると、CGP40は、データ処理装置（例えば、ノートブックコンピュータ又はグラフィクスワークステーション）と、特定の目的のソフトとから構成されており、そのソフトウェアは、実行されると、CGP40のデータ処理装置を設定して、FDV10の制御及び目標捕捉機能を実行し、さらに、CGPモデル42の生成機能も実行する。

i. FDV制御

CGP40は、目的物20のどの点をFDV10が走査するのかを制御するFDV10にライダー制御信号を提供することによって、そのFDV10の走査ライダー210を制御する。ユーザー入力CGP40に提供されるが、その入力は、目的物20のどの点を走査するのかという点とどの程度の解像度で行うのかを定める。

ii. モデル発生

FDV10によって生成される点暗影30における各データ点は、FDV10の「原点」からの対応するレーザー衝突点までの距離と、その原点からそのレーザー衝突点までの角度との両方を表す。CGPソフトウェアは、CGP40のコ

ンピュータを構成して、目的物20の走査の結果としてライダー210によって生成された点暗影30のデータ点を処理し、その目的物20の走査された部分を

表示して視覚化する。特に、CGPソフトウェアは、そのCGP40のコンピュータを形成して、目的物20の幾何学的形状を認識し（図形認識）、さらに、それらの認識された幾何学的形状を用いて、幾何学的構成、3Dモデル構成、3D視覚化並びに目的物の特徴の自動捕捉または手動入力、図面、断面及び寸法の生成、データ質問及びCADインタフェースのためのデータベース機能とネットワークオプションとを実行する。

B 詳細

1. FDVモジュールの詳細

図5は、本願発明に係るFDV10の一実施例のブロック図である。ライダー502は、レーザー、伝達光学機器、受信光学機器並びに分布及び強度データを発生する検出器を含む。

走査装置504は、レーザービームを操縦し、ミラーのいくつかの位置からのレーザービームの方角及び高度の角度を決定するための、二重直交走査ミラーと、検流計モータと、エンコーダとを備える。広角ビデオ装置506は目標ビデオ情報を発生し、狭角ビデオ装置507は色彩及び質感情報を発生する。制御／インタフェース回路230はFDV10とCGP40との間のデータの交換を処理する。

レーザービームが準CWで、常に強度変調（AM）または波長変調（FM）のいずれかでオンのときには、目標物20までの距離は、トランシーバ502での復調を含む多数の技術の内のいくつかによって推測することができる。レーザーがパルス状の場合には、目標物20までの距離は、通常、トランシーバ502から目的物20まで及び戻りのフライトの時間によって測定される。他のレーザー変調技術も用いることができる。

そのフライト時間の実施例において、望ましくは、レーザーがMassachusetts Institute of Technology社に譲渡された米国特許第5,132,977、5,386,427及び5,381,431号に開示されている種類のものである。特に、そのようなレーザーによ

って生成されたビームは、1ナノセコンド(nsec)より小さなパルス幅を生成できるような特別の性能を持つレーザーによって発生される。

現在使用されているレーザーの特定の実施例は、特に正確なライダーに適して

いる。その理由は以下のとおりである。

1. レーダー理論が、精度はパルス時間の逆数に比例するというを示しているので、短いパルス幅は高い精度を与えるから。

2. レーザー自体が、特に携帯できるものに用いることができるように物理的に非常に小型だから。

3. 回折制限ビームを持つことは、少し離れたスポットサイズは光りの性質によって制限されないだけでなく、それをコリメートし又は集束するために用いられる光学機器の品質によっても制限されないことを意味するから。

4. 波長は非常に短く(532nm)、レイリーレンジは波長に反比例するので、ビームを長い距離の間隔にわたって小さく保持することができるから。実際に、1cmの出口開口の場合には、ビームは、50mにわたって6mmより小さく維持することができる。

一つの実施例においては、レーザービームは、直交走査ミラーによって、目的物20の表面上のレーザー衝突点に指向される。その範囲は、多数の従来のライダー技術のいずれかによって決定することができる。例えば、レーザーから目的物20の表面まで、及びそれから検出器まで戻るレーザーパルスの「フライト時間」が決定される。その範囲は、適当な調整が雰囲気の要因のために行われて、光の一定速度に基づいて決定される。

本願発明に係る装置は、高い捕捉速度での高い範囲にわたる精度を提供することができる。例えば、100mの範囲の場合、1mmの精度を単一のショットベースで達成することができ、どこでも1000から5000のデータ点が1秒ごとに捕捉される。

他の実施例では、チャープライダーを用いることができる。チャープライダーの必須な構成要素は、時間ごとの波長の線形変化によって調整することができる。従って、レーザーから出力された光の波長は、 $\lambda(t) = k(t - t_0) + \lambda_0$ から

得られる。実際には、そのようなレーザーは、一般的に、2つの材料である、NdYAG(3510)のような一般的なレーザーゲインメディアと、リチウムニオブ酸塩(3520)(図35参照)のような電氣的に変更された屈折率を持つような物質との合成物を作ることによって製造される。これは、効果的にレーザーキ

ャビティの長さを変え、その結果、出力された波長を変える。市販されているレーザーは、約1kVの電圧変調により約100GHzまで調整することができ、それにより、光の周波数が約 $f(t) = k(t - t_0) + f_0$ となる。

図36を参照すると、一般的なFMチャープ装置において、レーザー3610から出力された光の一部はサンプル化され、ビームスプリッタ3630において目標物3620から戻る光と組合される。その光はその目標物と接触して戻るまでの時間だけ遅延するので、その目標物から戻る光は、レーザーからサンプル化された光より低い周波数を持つことになる。その差は、その組合せられたビームの強度を測定する検出器3610の出力において明らかになる。光の周波数ランプが正確に線形で、レーザーが目標物までの距離より長い干渉長さを持つ場合には、ビームを組合せることにより、距離に比例する検出器から一定測定周波数が生成される： $f = k_1 * d + d_0$ 。上述のチャープYagレーザーは、約20kmの干渉長さを持つが、そのチャープは線形のもではなく、それは現在のFMチャープライダーの精度をかなり制限している。

図37を参照すると、距離ごとの測定値を較正するための装置を追加することによって、かなりの精度の改善を実現することができる。一端に部分的反射器3771を持ち、他端に全反射器3772を持つファイバーが作られる。ここでは、レーザー3710から出力された光の一部は、サンプルされ、ビームスプリッタ3740において、目標物3720から戻る光と再び組み合わせられ、その強度が検出器3760によって測定される。レーザーから出力されたビームの他のサンプルは、ビームスプリッタ3730によってサンプルされて、部分的な反射端部3771でファイバーに導かれる。ビームは、そのファイバーの下方に一定距離伝播し、端部表面で反射して、部分的反射面3771で反射されたビームと再び組合され、そして、第2の検出器3750で測定される。チャープの線形性が

、次に、検出器3750の出力の一定周波数からの偏差を決定することによって測定され、その情報は、検出器3760の出力内の非線形チャープの影響を修正するために用いられ、それは目標物の距離測定値に相当する。

図3及び図3Aを参照すると、その実施例においては、FDV10が金属または他の適当なハウジング材料から作られたボックス330に物理的に収容されて

いる。そのボックス330は、フォーク取付台構造310によってその側面のパネルから吊り下げられている。そのフォーク取付台構造はターンテーブル340上に保持されており、そのターンテーブル340は三脚台320に取付けることができる。フォーク構造310を用いると、FDV10が水平方向（「方位角回転」）及び垂直方向（「仰角」または「高度」）に回転することができる。一般に、三脚台320の位置は、「設置（セッティング）」または「配置（ポジショニング）」というように呼ばれており、フォーク取付台310におけるFDV10の回転及びチルト（傾き）は、「指示（ポインティング）」または「方向づけ（オリエンテーション）」というように呼ばれている。「視野」は、概略、所定のセッティング及びオリエンテーションと関連する。

フォーク取付台310は、望ましくは、高精度の方位角及び高度回転測定装置（例えば、従来のセオドライトのような光学または電子エンコーダ）を備え、それにより、FDV10の正確な回転及び傾きのデータを提供する。その特徴により、同一の三脚320の設置であるが、そのFDV10の異なる方向から得られる走査の自動的な統合を行うことができる。結局は、それらの装置は異なるセッティング及び方向からえられた走査のためには用いられず、それらの走査は、後に説明する技術を用いて統合することができる。

ここでは、従来の測量機器は適切に作動するために操作を行う前に水平に置かなければならないが、これは、FDV10の要求ではない点に注目すべきである。それは具体化した本願発明の新規な方法によるものであり、それは、それ自体の座標系及びそのソフトウェアで用いられる手順が位置データを捕捉する方法を利用するからである。しかし、その装置は、水平となるとともに、従来の測量セオドライトと同様な方法で用いることのできる性能を持っている。本願発明の実

施例に係るFDV10のデカルト座標を図4に示す。

さらに、図3及び図3Aを参照すると、一実施例では、FDV10の2つの直交ミラーが約 $40^{\circ} \times 40^{\circ}$ の視界を与える（「視界」または「視野」は、ビームのレーザー最大偏向角によって投射される領域の最大寸法によって画定される）。その視界は、ミラー及び光学機器の列の所定の部品の寸法を偏向することによって拡大または縮小することができる。上記のフォーク取付台を用いると、FDV

の $40^{\circ} \times 40^{\circ}$ の視界を投射球面のどこにでも指向することができ、その結果、同一の設置から大きな目的物または一群の目的物を画像化する際に広範な柔軟性を提供することができる。同一の目的を達成するために他の取付方法を用いることができる。

高い精度及び反復性の電子エンコーダが、直交ミラーの回転角を読み、そのミラーの回転角の読み出しは、距離読み出しと同時の正確なタイミングで行われる。望ましくは、装置はクラスIIFDAの目の安全度（eye safe）である。第1の実施例は、 ± 50 mの範囲にわたる ± 6 mmの空間精度を持つ。他の実施例においては、自動焦点性能及び5－6ピコ秒の電子機器が含まれており、その実施例は、装置の距離精度を ± 1 mm及び ± 50 mにわたる ± 1 mmの空間精度まで拡大する。装置のそのレンジ（及び精度）は、選択された目の安全性分類の選択によってかなり影響を受けることがあるが、それらの制限は発明自体の本来の制限ではない。

以下に、FDV10の望ましい実施例の主要な構成要素を説明する。FDV10の光学トランシーバ502のブロック図を図6に示す。光学受信器502は、光パルスを目的物20上のスポットに伝達し、その目的物20から反射した光パルスを受取る。光が一定速度であると仮定すると、その光トランシーバは目標物上のスポットまでの距離を測定する。

図6を参照すると、レーザー602は、レーザー制御装置604から提供される外部のコマンドに応答して、250ピコ秒より短い時間まで持続する光パルスを出力する。そのレーザー602は、実時間イベントの中央制御を提供す

るデジタル信号処理装置から外部の信号が出力された後の $100-300\mu\text{sec}$ 以内に、望ましくは 532mm の波長で、パルスを生成する。その実時間遅延は、最近のレーザーの歴史及び環境状況の中で複雑化された機能である。その機能は、現在は完全には知られていない。しかし、他で説明するソフトウェアのアルゴリズムが用いられて、その時間遅延が、要求された測定値に対し十分な精度で予測される。

レーザー602から出力されたレーザービームはビーム拡大器（ビームエキパンダー）606を通して伝達され、そのビーム拡大器602は、目的物20上

の点に最終的に衝突する光スポットの寸法を調整するように焦点が合わせられる。集束された光パルスは、次に、送受切換器608を通じて伝達される。その送受切換器608は、出力光経路を入力光経路と整合する光学系である。その送受切換器608は、出力光パルスの光エネルギーの第1のかかなりの部分をスキャナ614を経由して目的物20上のスポットに指向するが、出力光パルスの光エネルギーの第2のかかなり少ない部分は、受信機望遠鏡610に指向される。目的物20に伝搬する出力光パルスのその部分は目的物20上のスポットに衝突し、光パルスのいくつかのエネルギーは、送受切換器608に戻る方向に、目的物20から反射される。その戻り光パルスは、送受切換器608によって受信機望遠鏡610に指向され、それは、その受信されたエネルギーを検出器612に集束する。その検出器612は、その受信光パルスを電気エネルギーに変換し、検出器612の出力は電気パルス列隣、第1のもの（それは目的物20に向かって指向されない送信パルスの第2の小さな部分に応答して検出器612によって生成されるものである）は、短い一定の時間（つまり、ビーム拡大器606、送受切換器608及び受信機望遠鏡610を経由する光経路の長さによって一定にされる）に発生し、その第2のものは目的物20からの光エネルギー戻りとして発生する。目的物20に指向されない送信パルスの第2の小さな部分と、目的物20上のスポットから反射された戻り光パルスとの双方とも、目的物20上のスポットまでのフライト時間を計算するタイミング回路616に供給される。目的物20上のスポットまでの範囲は、次に、フライトの算出された時

間から容易に計算することができる。

図7は、レーザー602の一実施例を示すブロック図である。レーザー装置702の心臓部は従来のレーザーチップ702であり、それは、表面が反射防止の誘電体被覆によって被覆された2つの接着されたクリスタルを含む。レーザーチップ602は、 $808.5\text{ nm} \pm 3\text{ nm}$ で動作するソリッドステートダイオード704によってポンプアップされている。そのダイオードポンプ704の出力周波数は、熱電気クーラー706を用いてその温度を変えることによって調整される。ダイオードポンプ704の温度はサーミスタ708によって測定され、その測定された温度はダイオード出力供給710にフィードバックされる。必要な

温度は各個々のダイオードに応じて変わるが、それは一般的には 20°C から 30°C までの範囲にある。

ダイオードポンプ704の出力パワーは概略1ワットで、 $100\text{ }\mu\text{m}$ コアのグラスファイバーに出力される。連続的にポンプアップされると、クリスタルレーザー602の出力は、 $1064\text{ }\mu\text{m}$ で平均が約 35 mW となり、それは、 15 kHz の反復速度で約 280 psec 続く $204\text{ }\mu\text{J}$ パルスに相当する。マルチモードファイバーは、望ましくは、SMA905ソリッドプラスコネクターによって終端しており、そこでは、レーザーチップ702のクリスタルが光樹脂でそのコネクターの一方の端部に接着されている。これにより、レーザーチップ702のクリスタルから十分な熱が発散されて、最高効率の作動に必要な温度範囲内にそのクリスタル702が維持されることが保証される。

1個のKTP周波数倍増クリスタル712が、レーザーチップクリスタル702の表面の数ミリメートル内に保持されている。これにより、 532 nm で平均パワーが 12 mW のレーザー602から最大の出力を得る。それは、約 218 ps 持続する $0.8\text{ }\mu\text{J}$ のパルスに相当する。レーザー602からのこの最大出力は、回折限界に近く(つまり、特定の波長及びウエスト直径を持つ場合に、理論上最少発散を持つもの)、その際には、見かけの $56\text{ }\mu\text{m}$ のウエスト直径を持つ。

FDAクラスIIの目に安全な装置設計明細に合致する本願発明の実施例は、商

業的に実行できる可能性がある。その明細に合致するためには、532 nmで伝達することができるパルスごとの最大エネルギーは、 $0.2 \mu\text{J}$ である。この制限を伴うと、伝達された平均パワーは、パルス繰り返し速度に十分に依存し、以下の表から与えられる。

| クラス | パルスごとのエネルギー | 平均出力 | 反復速度 |
|------|------------------|-------------------|---------|
| I | $.2 \mu\text{J}$ | $.39 \mu\text{W}$ | 1.95 Hz |
| IIA | $.2 \mu\text{J}$ | $.39 \mu\text{W}$ | 19.5 Hz |
| II | $.2 \mu\text{J}$ | 1.0 mW | 5 kHz |
| IIIA | $.2 \mu\text{J}$ | 5.0 mW | 25 kHz |

本願発明の一実施例では、ビーム拡大器606は完全に従来のものである(例えば、Melles Griotモデル番号09LBM013、10xビーム拡大器)。受光器502は、予定の目標物に衝突するレーザービームの寸法に比例する交差軸精度を持つ。6 mm精度の基本設計は単純なビーム拡大器を持つ。レーザー602は、50 mの範囲にわたって6 mmより狭い $1/e^{2.303}$ ビーム幅のビームを生成するために<1 cmの開口を持つ固定10xビーム拡大器とコリメートされる。

図7Aは、本願発明の装置が50 mで約1 mmの精度で範囲を測定することができるという特徴を持つビーム拡大器606の別の実施例750を示す。その理由は、従来のビーム拡大器によって拡大されたレーザービームの対象20上の衝突スポットが、コリメートされ、50 m範囲にわたってわずか6 mmのスポットを生成するからである。しかし、ビームは、50 mmアパチャー(開口)を通過して、50 m範囲にわたってわずか1 mmの寸法のスポットに集束することができるが、そのスポットは、他の範囲ではかなり大きくなるであろう。従って、50 mで1 mm精度を持つ装置のビーム拡大器750は、集束スポットの寸法を変えることができる、移動可能な光学素子752を備える。さらに、そのビーム拡大器750は、調整可能な開口755とその調整を制御する装置とを備えていて、ビームの直径が1 mmにとどまることのできるようなレーザーからの距離は、ほぼ一定に保持される。焦点距離 f 及び直径 D の回折制限レンズによって生成された最少の直径のスポットは、 $d_0 = 2f\lambda/D$ である。ビームの焦点深さとなる、集束されたスポットのレイリーレンジは、 $b = 2\pi\omega_0^2/\lambda = 2\pi f^2\lambda/$

D^2 から得られる。従って、 f/D が一定に保持されると、その焦点深さは集束スポット f の範囲の関数とはならない。

ビーム焦点が変化するときは、構成素子は、ビームが50mmで1mmの端数より大きくは方向を変えないように整列状態を維持しなければならないか、または、それは、点の空間配置におけるエラーとして現れるであろう。このビームのふらつきを最少にするために、線形サーボモータ754（図7A）が採用され、それにより、集束機構の位置を制御し、トランスジューサーが位置のフィードバックを提供する。レンズ752が環状リング753内に取り付けられており、それに

より、そのレンズが移動させられる間に、回転したり不整合となったりすることが防止できる。

送受切換器

送受切換器608の実施例を図8に示す。その送受切換器608の光学系は、ビーム拡大器606からスキャナ504までの出力ビームが、対象20から反射された戻りビームと同軸となるように構成される。従って、1つだけの必要なスキャナ504が設けられる。図8の送受切換器の実施例においては、ウインドウ802が設けられていて、50%のビームスプリッタ804がそのウインドウ802の上に取付けられている。光パルスがレーザー602から伝達されて、ビーム拡大器606を通過すると、そのパルスはビームスプリッタ804に衝突する。そのパルスのほとんどの光エネルギーは、そのビームスプリッタ804から反射されてスキャナ504まで通過するが、幾分かの光パルスはビームスプリッタ804を通過して低反射率のビームブロック806に衝突する。ビームブロック806の反射率は小さいので、ビームブロック806に当たる光パルスの少しの部分はビームスプリッタ804に戻り、そして、受光器610に向けて反射される。

さらに、光パルスは対象20から戻るときには、その戻りパルスの中央部分のみはプリズム804によって暗くなるので、ウインドウ802に衝突する光の大部分は受光器610への経路を進む。

部分反射の送受切換器

図8Aを参照すると、1mm精度の実施例のために、部分反射の送受切換器850が用いられている。その送受切換器を用いると、ビーム拡大器からビームストップ610に提供された光パルスの一部は、その送受切換器ウインドウ850から反射して受光器テレスコープ610に達する。その光パルスの残りの部分は、対象20に進む。対象20からの戻り光パルスの大部分は、ウインドウ850を通過して持続し、そして、受光器テレスコープ610によって収集される。ウインドウ850は受光器側にAR被覆され、部分的にレーザー側に反映さ

れている。出力ビームを操作するためにウインドウ850の全体を用いるが、それは、スポット径を50mmで1mmまで集束するためには50mmの開口が必要だからである。その部分的な反射は、レーザー伝達出力及び適用される目の安全性の分類レベルを考慮して選択される。例えば、レーザー伝達出力がその適用される目の安全性の分類レベルの4倍の場合には、部分的反射は25%を反射して75%を吸収するように選択される。

図9を参照すると、6mmの実施例においては、出力パルスを反射するようにウインドウ802の中央部のみを被覆し、さらに、そのウインドウ802の残りの部分を反射防止被覆906すると、戻り光パルスを収集する際の効率を改良することができる。その場合には、戻り光パルスは、反射防止被覆906されているウインドウ802の部分によって受光器から反射されない。

望ましくは、レーザー602が強く偏光されたビームを出力すると、反射被覆904は2つの平面偏光に対しわずかに異なる反射係数を持つように最適化することができる(20%-S及び30%-P)。そのような実施例においては、対象20に衝突したビームの出力は、レーザー本体を物理的に回転するだけで微調整することができる。

受光器テレスコープ

図6を参照すると、戻りパルスが送受切換器608を通過した後に、それは受光器テレスコープ610によって収集されるが、それは、検出器612に提供される信号の量を最適化するものである。その受光器テレスコープ610は、単純

な50mm開口レンズであってもよい。そのレンズは、検出器612に入るパルスエネルギーの変分が、その機器の設計に関する距離の範囲にわたる対象20までの距離の関数としては変化しないように選択される。複合素子レンズを設計して、単一の素子レンズより幾分か効率的な範囲の関数として受光パルスエネルギーの変化を最少化することができる。つまり、最大の予測距離においては、すべての入力光は遠方のフィールド内の点源から発生したのでそれは効果的にコリメートされており、そのすべての入力光が検出器612を完全に満たすように集束されるように、そのレンズの焦点距離は選択されている。対象20がテレスコ

ープ610に接近するときには、戻り光のスポットは検出器612よりも大きくなる。検出器612への入射パワーは、テレスコープ610から対象20までの距離の二乗として、最大予測距離まで増加する。さらに、対象20からの戻りパワーは、テレスコープ610から対象20までの距離の二乗として減少する。従って、実際には、それらの2つの効果ほぼは相殺される。それは、予想された使用の範囲にわたって検出器612への入射光のパワーの変分を最少にする。1mmのオプションにおいては、受光器光学系は、2素子の調整可能な焦点のニュートンテレスコープ（例えば、1mmのビーム拡大器と同様なもの）を用いることによって、いくつかの場合に、改良することができる。

検出器

検出器612は、光パルスを、経過時間測定電子機器（タイミング回路）によって処理できる電気パルスに変換する。一つの実施例においては、その検出器612は、1GHzより大きな電氣的帯域を持つアバランシェフォトダイオード(APD)である。開始パルスといずれかのストップパルスとの間の時間に加えて、すべてのパルスの強度が記録される。その強度情報はタイミング情報から得られた距離測定値の訂正を行うために用いられる。

スキャナ

スキャナ504は従来のものでよい。スキャナ504は出力パルスを送受切換器608から対象20上の所望の位置に指向し、さらに、入力戻りパルスを受光器テレスコープ610に指向する。スキャナ504は光を狭いフィールドのcc

dカメラ507に指向して、走査レーザー一点の直ぐ近くの色彩及び質感を収集し、それは、得られた色彩及び質感の正確な登録のためにライダー捕捉の点の形態を提供する。一つの実施例においては、ビーム操作のためにスキャナ504は二重ミラー構成(図6A)を備えるが、従来の高精度及び反復ビーム操作機構を用いることもできる。その二重ミラー構成は、コイルモータを移動することによって直交軸上で回転される2つのミラーを含む。それらのモータは積分位置検出器を持ち、それは1マイクロラジアンより小さな角度反復性を持つ。スキャナ

の取付台はレーザー及び他の光学機器のサポートとともに総体的に形成される。その装置は、それぞれのヘルツで高度(仰角)及び方角の両方において40度の光学的動きを提供する。

電子機器

A. タイミング回路

スキャナ504機構の他の実施例は、回転タレット上に取付けられていて、中央軸の周りを回転する単一のミラーからなる。その構成では、物理的座標系は球状であり、より速い(慣性がないため)ミラーは仰角を提供し、より遅い回転タレットは方角的動きを提供する。そのような装置は垂直面内では90度より大きくて水平面内では360度の全範囲にわたる視野を与えることができる(両方の面ともにいくつかの選択したスキャナの座標系に関連する)。

電子機器

計測電子機器

その計測電子機器の機能は、検出器612の出力に基づいてFDV10から対象20までの距離等の範囲を演算する。準CW変調レーザー装置の場合における変調器を含む多数の方法を用いることができる。望ましいフライト時間の実施例のためには、間隔タイマー(タイミング回路)が、送受切換器608によって受光器610に直接に反射された最初の(開始)パルスと、対象20から反射してその受光器610に戻るパルスとの間の相対時間間隔を測定する。

反射率電子機器

多くの場合において、対象20上の点の空間的位置を知るだけでなく、その点

の反射率（いくつかの特定の波長でのもの）を知ることが有用である。その反射率電子機器は、対象20から受光器610及び検出器612に反射された光の量を測定する。このデータを用いて、距離情報のみならず対象20の表面の材料及び／または仕上げに関する情報の修正を提供することができる。

デジタル信号プロセッサ

デジタル信号プロセッサの集積回路は、すべてのFDVの時間臨界機能、つまり、スキャナ制御、レーザー起動を制御する。それは、幾何学的修正、較正修正、ビデオレンズ修正及びビデオ圧縮を行うための高速フローティング点評価性能も提供する。デジタル信号プロセッサは、通常の時間間隔、一般的には、約10 μ secで割り込まれる。その各時間間隔で、どの実時間計算が未解決であるのかわかるようにチェックが行われる。

スキャナ制御

スキャナ用の電子機器は単一の正確なPID制御装置であり、それはDSPからのデジタル信号によって駆動される。その装置を迅速に駆動するときには、スキャナの性能に目立った遅れがあって駆動信号に追従する。しかし、その制御装置の回路はエラー信号出力を持たない。外部の正確なアナログ差動増幅器が、エラー信号（コマンド信号と実際の動きとの間の差である）を提供し、それは、低解像度でDSPによってサンプルされる。そのDSPは、次に、コマンド信号とエラー信号との合計を計算することによって正確な操作位置を算出する。この方法の利点は、かなり高価な正確なA/Dではなくて、低解像度のA/D変換器と正確なD/A変換器とを必要とするだけである点にある。

そのデジタル信号プロセッサは、そのアナログスキャナ制御装置に対し軌道を発生し、さらに、所望の軌道と実際の位置との間の差の測定を行う。それは、レーザーポンピングが開始されてそのレーザーが所望の角度で出力を行う時間を予測する。それらの予測は、規則的な時間間隔で行われる。図10は、各時間間隔で実行される計算を示すフローチャートである。

軌道計算

ユーザーはスキャナの視界内にあり走査すべき範囲を確定し、その走査された

領域内でサンプルを行うための点の密度を指定する。用いることのできるいくつかの走査パターンがある。それらは、軌道と知られているような、ミラーの動きの特定のパターンを必要とする。完全な軌道を選び出す目標は、迅速かつ正確な

移動を行うのと相反する必要性である。正確な移動は最少のトルクを必要とするが、そうでなければ装置を変形することになるであろう。それは、どの動きが可能なのかにより速度を制限する。同一の時間増分で、各ミラーの最新の位置を決定するために計算が実行される。用いられる特定の計算は採用された走査の種類に従う。

ラスタースキャン

所望の走査フィールドが多角形の場合には、1又は2以上のラスタスキャンパターン用いられる。第1には、走査は一方向（つまり、平行ライン上を、常に、左から右へ又は右から左へと進む）である。図11Aは、そのような一方向走査パターンを示す。走査ラインの間には、走査ミラーは、いずれの距離測定を行うことなく、次のラインの最初まで引き返す。その引き返しの間にはどのような計測も行われないので、その引き返しは非常に迅速に進行することができる。

ラスタースキャンのわずかに効果的な手段は双方向であり、その場合には、走査は引き返しの間も実行される。図11Bは、そのような双方向走査パターンを示す。それは考えたほど効率的ではない。それは、その引き返し時間は他の計算のために用いられており、さらに、その最終的な走査パターンは規則的ではないからである。

両方のラスタースキャン方法は、最少の時間で直線を移動することと、ゼロの速度からスタートすることと、ゼロの速度で終わることとを必要とする。そのミラーに加えられるトルクは、角加速度に比例し、それは、ミラーは停止するので、走査の開始及び終わりの時にゼロでなければならない。2つの点の間のそのような最少のエネルギー移動を行う軌道は、直線とサインの全サイクルとの合計によって得られる。しかし、それは最少の次数の多項式によるかなり少ないコンピュータ算出により厳密に近似され、境界条件は、 $p(t_0)=p_0$ 、 $p'(t_0)=0$ 、 $p''(t_0)=0$ 、 $P(t_1)=P_1$ 、 $p'(t_1)=0$ 及び $p''(t_1)=0$ であり、それは、5次の多項式である

。つまり、 $p(t) = (p_1 - p_0)t'^3 (6t'^2 - 15t' + 10) + p_0$ 。ただし、 $t' = (t - t_0)/(t_1 - t_0)$ である。

らせん走査

ラスタースキャンの欠点は、軌道の速度は変わるので、その走査効率は最適ではない点にある。らせんパターン走査は、均一な点分配が可能な一定速度の軌道を達成することができる。

探索

レンジイメージの走査に加えて、装置は測量の際に共通する多数の機能を実行することができる。スキャナは重要な特徴または高い反射率の位置を調査するように作ることができる。それにより、その装置は、目標を発見してその位置をほぼ特定し、さらに、その正確な角度及び位置を報告することによって、通常の測量機能を実行することができる。

角度測定

移動コイルモータ内の容量性エンコーダはかなりのくり返し性能を持つが、相対的に精度が低い。多数の測定作業は、装置の精度を保証するために連続して実行される必要がある。

使用前は、各スキャナは、その全部の角度範囲にわたって較正される。多数の別々の温度において、NBS規格をたどることのできる外部の解決装置を用いて、数千の正確な測定点に関して明白な角度の測定値のマップが作られて記憶される。そのDPSは、各角度の測定値上のそれらの側定点の間を直線状に補間する。

望ましくは、角度測定値の精度は、作動中のエンコーダ内のスケールまたはオフセット誤差を決定することによって改良される。市販されているスキャナは、環境の変化とともにかなりドリフトすることがある。その結果、角度測定値の有効ゼロ及び全スケールレンジにシフトが生じるが、スキャナを装置に導入する前に慎重な実験室での測定を行うことによって得られる較正曲線の全体の形状を保持する。その環境の影響は、スキャナが既知の再現可能な角度にある時点を決断する手段を提供することによって取り除かれる。そのような装置の一つの望ましい実施例においては、器具に関して固定されている2つの光学的基準が、各走査

ミラーの背面に向けられる。光学的基準を提供する構成は様々なものがあるが、

一つの実施例では、一对の自動コリメータが、その走査ミラーの背面の反射表面に向けられ、そのミラーが各自動コリメータの軸と直交するときの高い反復性の測定値を提供する。各自動コリメータは、約 $10\ \mu\text{rad}$ 内の基準角度を与える。定期的に、スキャナは、コンピュータ制御下で、ミラーに近くてその自動コリメータの軸と直交することになる位置まで移動されて、明らかな角度が測定される。その測定値はスキャナが較正されたときに得られた測定値と比較され、線形修正が計算されてそれぞれの次の測定値に供給される。

別の実施例では、一对の機械的停止部が走査ミラーの動きの通常範囲を過ぎたところに提供される。定期的に、そのミラーはそれが機械的停止部に触れるまで駆動される。次に、その走査ミラーは既知の電流で駆動され、それは既知の力に相当するものである。そのミラーはそれぞれの反復可能な位置で安定な状態に達し、それは、ミラー較正曲線の線形修正を計算するために用いられる。

距離測定ファイバー

タイミング回路は、時間及び温度に関して所定の量のオフセット及びスケールドリフトを持っており、それらの変化量を補うために準備が含まれている。光パルスがレーザー 602 から出力されると、少しの量のエネルギーが、ビームスプリッタ 810 によってサンプルされて、レンズ 833 を用いてビームをファイバー表面 831 上に集束することによって、シングルモードの光ファイバー 830 に導かれる。そのファイバー 832 の他表面は、それから出るビームがライダー受光器 610 に入るビームとコリメートされるように配置される。そのファイバーは、その長さが温度とともに変化しないように、又は温度にともなうその長さの変化量が正確に特性となることができるようになっている。単一モードのファイバーを用いると、伝搬遅延の変化分は、数ピコセコンドより小さくなり、さらに、ファイバーから出力されたパルス形状は、ファイバーに入るパルスの形状とほぼ同一となる。定期的に、タイミング回路は、そのファイバーを通過する際の伝搬遅延を測定するために用いられ、外部表面から得られる距離測定値に対し対応する調整が行われる。

そのファイバーは、パルスが発生されて833、そのパルスが出力される

834端部が部分的に反射を行うように作ることができる。それが行われると、パルスが入って833反対の端部834まで伝搬され、その点において、一部のエネルギーが放出されて残りが第1の端部833まで戻る。また、光の一部は出力され、残りは反射され、それは、最終的には受光器内に出力される。このプロセスは、ファイバー内の残りのエネルギーが無視できるレベルになるまで繰り返される。その結果、一連のパルス、通常3-10が受光器に供給され、それらのすべては数ピコセコンド内で繰り返すような遅延を持つ。定期的に、タイミング回路は、ファイバーからのそれらのパルス列を測定するように用いられ、外側の表面から得られる距離測定値に対して対応する調整が行われる。

レンジウォーク較正

ライダー装置は、レーザーパルスが出力されてから、表面から戻るまでの間の遅延を計時することによってその表面の距離を測定する。その遅延は、出力パルスと、受光器610に取り付けられた感光性の電子検出器612上への戻りパルスとのサンプルを強制的に行うことによって電子的に測定される。一つの実施例においては、その電子タイミング回路は、その出力パルスが一組のしきい値電圧を超えたときと、戻りパルスが同一の電圧を超えたときとの間の時間を計測する。その出力パルスは、数パーセント内の同一の強度となる。しかし、多くの表面の反射される光の量は非常に変化する。その結果、同一の距離で発生するが異なる強度を持つ2つのパルスに関する明白な相対時間は、異なる距離になることがある。最初にしきい値レベルと越える小さなパルス3810に関する測定時間は、同じしきい値レベルを越える大きなパルス3830に関する測定時間より遅くなるが、それは、それらのパルスがたとえ同一の距離で対象から戻るときでもそのようになる。したがって、最大受光器感度の距離にある高反射性の対象は、わずかに接近して現れることになる。これは、強度の関数のような明らかな「レンジウォーク」を作り出す。そのレンジウォークは、光の戻りの形状が常に同一で、その戻りのエネルギーが既知である場合には、修正することができる。可能性のあるQスイッチ切換のマイクロチップレーザーによって発生されたパルスの非

常に再現性のある形状は、それを可能にする。

タイミング回路の一部は各検出されたパルス内のエネルギーを予測する。修正の表が、その距離の予測を改善するために保持されている。2つの異なる回路が用いられていて、この目的のためにパルスエネルギーの測定を行う。第1のものはゲート制御された積分回路（インテグレータ）であり、そのゲートは、パルスの開始時には開かれ、終わりの時には閉じられる。その信号は比較器3920に供給され、それは、信号が選択されたレベルを越えた時にスイッチ3930を閉じ、その信号がそのレベルより低くなった時にはそのスイッチを閉じる。その信号は、また、遅延回路3910にも供給され、その遅延回路の出力は、スイッチ3930が閉じられたときにはそれを通じて進行し、そして、そのスイッチが閉じられた時間にわたって積分回路3940に供給される。その遅延は、比較器及びスイッチ内のタイムラグを補償するように選択される。パルスが完了したときには、積分回路の値がアナログ・デジタル変換器3950によってサンプルされる。第2のものは、パルスの幅まで定められた時定数を持つ積分回路4010からなり、その後には、ピーク検出器4020があり、それは、そのパルス幅よりかなり長い時定数を持つ。ピーク検出器の出力はそのパルスが検出された後にすぐにサンプルされる。

定期的に、タイミング回路が用いられて、タイミング回路に関連するオフセット及びスケール係数を較正するために用いられる単一モードのファイバー830によって遅延されている一連のパルスが測定される。さらに、それらのパルスの強度は、可変減衰器820によって広いレンジにわたって変えられる。ファイバーに結合された光の量を変えることによって、検出されたパルスのエネルギーは、1つの特定の時間遅延で、受光器のダイナミックレンジにわたって変えることができる。その強度及び測定された時間遅延の値は、各強度ごとに必要なレンジウォーク修正のマップを作り、その修正は次の測定値に供給される。その修正は、特に、レーザーパルの波形の際立った反復性の結果として、器具のダイナミックレンジにわたって1mmの精度を提供することができる。その関数は、それらの表面から戻る光強度の関数として外部表面の測定済み距離を修正するために用

いられる。

幾何学的較正

距離走査の後のF D Vの出力は、そのスキャナ内の座標系に関連する窮状の座標内の点から構成される。しかし、その生データは、ミラー角度及び時間間隔からなる。D S Pは、スキャナの幾何図形（ミラー厚さ、光軸線、ミラーオフセット等）及びすべての適切な較正調整値を考慮することによって、走査点の球状座標を演算する。

レーザー制御

遅延予測

デジタル信号プロセッサは、パルスレーザーの作動を制御するために応答可能であるが、それは二次的にそのように機能することができるだけである。そのプロセッサは、ポンプダイオードを始動するためのタイミングの制御を持っており、それにより、受動qスイッチが飽和が生じた後に始動することができるようになる。しかし、ポンピングが開始されることとレーザーが始動することとの間にはさまざまな遅延が存在する。その遅延は結合温度の関数であり、それは次に周囲温度及びレーザー始動の最新の経緯の複雑な関数となる。その遅延は概略100-300の間の範囲にある。

幸運にも、第1に、レーザーが始動した正確な瞬間における走査ミラーの角度を知る必要がある。ほんの数回レーザーが出力した後は、その出力割合が瞬時に変わらなければ、ポンピング遅延は瞬時には変わらない。その結果、数マイクロ秒の精度は、前の出力サイクルにおけるポンピング遅延と同一となるであろう次のポンピング遅延を予測することによって達成することができる。デジタル信号プロセッサは、ポンプが開始された時と、レーザーが実際に出力を出し、それによって中断が生じた時とに、内部カウンタを読むことによってポンピング遅延を計測する。中断待ち時間はマイクロ秒より小さいので、それはポンプ遅延を測定することができる程度のタイミング精度となる。

レーザーの熱特性のより精巧なダイナミックモデルは、わずかに向上された走査パターンの正規なものとなるが、プロセッサの中断の時間解像度によっておそ

らく同等に制限されることになる。

出力制御

時間対走査軸線 $w(t)$ に関する角度軌道、レーザーを出力するための所望の角度及び中断間隔 D_t を仮定すると、レーザーの出力の決定は、ポンプダイオードが開始される時を演算することに等しい。

コンピュータ制御

F D Vは、ユーザーが走査すべき領域を特定するためのグラフィカル制御を含む遠隔ホストコンピュータの制御の下で実行するように設計されている。その遠隔装置は、双方向のシリアルバイト流れによってF D Vを制御するものであり、それは、多数のメディアのいずれにおいても達成されている。つまり、イーサネット、E P Pパラレルポート、シリアルポートである。F D V内のプロセッサは、メッセージの復号及び必要な動作のスケジュール管理のタスクに割り当てられている。図12は、F D Vプロセッサのブロック図である。

ホスト通信インタフェース

ホスト装置はマスターとして作動し、F D Vに命令を出すために完全に定義されたメッセージプロトコルを送信する。動作が完了した時には、F D Vはデータ及びステータス情報によって応答する。要求されることがある動作の間には、

スキャナの指向

距離の測定

ボックスの距離走査

レーザーの n 回の起動

ビデオ画像の入手がある。

スキャナ制御

図13を参照すると、通常の動作においては、二重ミラー装置における各スキャナは、所望の位置を設定するために16乃至18ビットデジタル語を必要とし、それは正確なデジタル・アナログ変換器に供給されて、所望の位置に比例する電圧を生成する。しかし、その変換器の出力によって命令された位置と、スキャナ

の実際の位置との間にはいくらかの誤差が存在しており、それは位置エンコーダの出力によって反映される。正確な差の信号が発生され、その差は12ビット精度まで測定される。これは、高価でない12ビット変換器を用いるだけの、18ビットの位置測定を行う経済的な方法を提供する。

市販されているガルバノスキャナはマイクロラジアンの反復可能性を持つが、特に温度に関しては、比較的不十分なスケール及びオフセット特性を持つ。較正モードが装置に組み込まれていて、2つの正確な角度における測定を行い、更に、スキャナのオフセット及びスケールドリフトを算出することができるような2つの測定データを用いることができる。

その目的のために2つの方法、つまり、光学的及び機械的手段が開発された。機械的方法においては、スキャナシャフトは、2つの機械的停止部の一つに静かにおかれており、さらに、スキャナ制御装置内の電流は特定の値に調整されており、それは既知の力を与えるものである。位置信号は、位置誤差がなくなるまで調整され、それは、較正された位置測定値を与える。光学的方法においては、2つの自動コリメータがスキャナミラーの背面に照準を定めており、それも磨かれていてミラー被覆されている。スキャナのミラーが正確にそれらのコリメータの1つと整列すると、分割フォト検出器から自動コリメータへの出力は平衡になる。スキャナを順にそれらの正確な角度の各々に配置することによって、スキャナエンコーダに関するオフセット及びスケールを計算することができる。

タイミング回路

タイミング回路の目的は、開始パルスと停止パルスとの間にピコ秒の相対時間を提供する点にある。そのタイミング回路には2つのサブシステムが存在する。つまり、信号条件付け及びエネルギー積分回路（図14に示された実施例の回路）と、時間間隔アナライザーとである。両方とも直接にDSPと通信を行う。最初に、装置は市販のタイミング器具、Stanford Research SystemsのSR620時間間隔アナライザーを用いて作られた。その器具へのインタフェースは、IEEE488インタフェースによるものである。望ましい実施例においては、Stanford Research SystemsのSR620時間間隔アナライザーへの通信インタ

フェースはIEEE 488である。

別々に特許された補間技術を利用するカスタムの時間間隔測定回路が開発された。その回路は、一般的に $> 100\text{ mhz}$ で作動するクロックを用いており、それは、停止パルスと開始パルスとの間で 10 nsec の間隔の粗めのカウントを行うように用いられる。さらに、各 10 nsec の粗めのカウントを 1000 の小さな増分に分割して 10 psec の解像度を与えるような補間回路が存在する。その装置は約 5 psec のジターを持つ。 20 psec RMS 誤差より小さな者を伴う差動時間測定を行うことができる。その回路は専用のシリアルバスを用いてDPSと通信を行い、パケットプロトコルを利用する。つまり、そのDPSは、信号バイトを送ることによってその回路に準備を行わせる。タイミング回路がそのタスクと完了すると、それは、開始パルスと停止パルスとの間の時間遅延と、各パルスの強度との双方を表す一連のバイトを送る。

レーザー起動

DSPはレーザー制御のために3つのラインを持つ。つまり、第1はレーザーポンピングを開始し、第2はレーザーが起動したことを示し、さらに、第3は目標からの戻りパルスが検出されたことを示す。レーザーが起動すると、DSPはアナログパルスの振幅信号のサンプルを行う。これは一般的に $1\text{ }\mu\text{ sec}$ 内に起こる。

ビデオ

目標物捕捉のために、ユーザーのホストには、ユーザーが距離走査の予定の部分を選択することができるシーンのビデオ表示が提供される。多くの場合、それは周囲の光度で表されるシーンに相当することになる。

捕捉

ビデオを捕捉する1つの方法は、スキャナを用いて、単一の検知装置をレーザーが停止した状態でシーンを横切るように指向する。これにより、次の距離走査と非常に正確に空間的に整列する画像を捕捉することができる。しかし、画像捕

捉は市販のカメラと比べると非常に遅いことがある。

第2のアプローチとしては、画像を捕捉するために標準的な市販のCCDビデオ

カメラを用いることである。広角レンズを備える1つのCCDカメラは、可能な限り小さなオフセットを持つレンジスキャナと整列される。5度の視野を持つ第2のカメラは、その光学軸がトランシーバと同軸となるように配置される。従って、かなり小さな視野は、そのスキャナによってアクセス可能となり、さらに、トランシーバと同一の解像度で走査される。これにより、小さいかまたは遠方の対象を目標にすることができる。

整列

広角レンズは、レンズの背面に置かれたCCDによって捕捉された画像にフィッシュボール効果を生じさせる。ここで直線状のものが画像内では直線ではない。このゆがみは、レンズの中央からの距離とともに増加する。そのゆがみは、カメラが作る画像を、慎重に設計されかつ印刷された較正目標画像に向けられた時に比較することによって取り除くことができる。予想された画像と記録された画像との間の違いは、歪みを取り除くために捕捉された画像をほぼそらせるのに必要な情報を提供する。

圧縮

各ビデオ画像は移動の前に圧縮される。最近は、JPEG規格の画像圧縮を用いている。それは比較的高速で、通信用に合理的な小さな圧縮画像を作る。他の望ましい特徴は、アルゴリズムがブロックに基づいて作動し、それにより、インターリーブ画像捕捉、整列、圧縮及び並列送信を行うことができ、その結果かなり処理量が増加された点にある。

点ビデオ

狭い視野（例えば、約 5° ）の第2のカメラは、それが走査レーザービームと同軸となるように配置される。その視野は、ピクセル解像度がほぼライダー装置のvoxel解像度と同一となるように調整される。そのカメラは、レーザーが作動

している間は作動することができる。それが行われると、小さなグループのピクセルは、レーザーによって照射され、それらのピクセルの重心はライダーによって測定されるであろう点に相当する。ビデオ画像が捕捉されると、それはライダー走査によって予測される表面上に位置づけすることができる。

コンピュータグラフィクス認識 (CGP) ソフトウェア

図15を参照すると、CGP40はCGPコンピュータ1500で作動しFDV10と通信を行うソフトウェア装置である。CGP40はラップトップ及びワークステーションを含む多くの異なる種類のコンピュータで作動する。CGP40は、カラーグラフィック表示ターミナルのような適当な表示装置1510と、キーボードのような適切なキャラクター入力装置1520と、マウスのような適切なポインティング装置1530とを持つコンピュータ1500で作動する。そのソフトウェアは、表示装置上のウインドウに捕捉された3Dデータを対話式に表示するためにライブラリを提供するようないくつもの標準的な3Dグラフィクスを用いることができる。3Dビュー操作及びウインドウへのデータプロジェクションを含むCGP40ユーザーインタフェースの一部は3Dライブラリーによって処理される。

CGP40は実時間3Dデータ捕捉及びフィールド内のモデル化を実行する。CGP40はハイレベルのFDV10の制御を機能的に含んでおり、それは、目標及びデータ捕捉、走査点の表示及び視覚化、表面分割及び適合化、マニュアル3Dモデル構造、3D視覚化、パート及びモデルデータベースとの対話、及び別の処理のために標準的なデータ変換フォーマットのデータを他のCAD装置にエクスポートする性能を制御する。これから説明するように、ハードウェア及びソフトウェアの統合は、実体の三次元モデル化の全体のプロセスにおける生産性及び品質の重要な改良を行うことができる。

図1Aを参照すると、データ捕捉及びモデル化プロセスは以下のステップに分かれる。つまり、FDV10の制御、点捕捉、分割、幾何学的適合、気化図形の手操作によるモデル化、ワープをして又はワープをしないシーン登録、モデル注釈並びに幾何学的図形及び質問である。

図16を参照すると、上記の操作は、少なくともグラフィック表示ウインドウ内で実行することができる。一方のウインドウ1610は、FDV10によって走査される予定の領域を確定するために用いられるターゲットシーンのビデオ画像を表示し、他方のウインドウ1620は、走査点及び構成表面の幾何図形が

らなる3Dモデルの対話型2Dプロジェクションと、そのシーンに関する他の情報とを表示する。追加のウインドウを用いてデータの多数のビューを提供することができる。さらに、CGP40は、別のウインドウを提供してFDV10のハードウェアを制御するとともに、装置のステータスパラメータに設定及び表示を行う。

走査制御

図15を参照すると、統合されたハードウェア・ソフトウェア装置を用いる前に、FDV10が関心のある目的物20の方向を向く。

走査制御は、スキャナが認識できるシーンのどの部分を走査すべきかを示すプロセスである。その認識できるシーンの異なる部分を異なる密度で走査することができる。それは、面、シリンダー及び球体のような簡単な幾何図形の物体は、かなり少ない数の走査点によって正確にモデル化できるからである。したがって、スキャナ前方にある領域は、1度の高解像度の走査というよりも、しばしば多重走査により捕捉される。高レベルの細部を持つ領域のみが高解像度の走査を必要とする。

図17を参照すると、走査制御の1つの手段は、FDV10から捕捉されたシーンのビデオ画像1710を用いることである。マウスのようなポインティングデバイスを用いると、ビデオ画像上の長方形1720をドラッグするような多数の方法によって走査される領域を指示することができる。CGP40は、FDV10に指示を出して、走査密度を特定する際の援助となるようにユーザーが特定した目標領域の中央に存在するすべてのオブジェクトの距離を測定させる。それは、点の間の角度は、表面上の所望の密度とスキャナからの距離との両方によって決定されるからである。対話ボックスのような所望の走査パターンを特定する手段が提供されて、ユーザーが、点密度、点空間、又は垂直及び水平方向の各々

における点の総数を含む走査パラメータを様々な方法で特定することができるようになる。

CGP40は次に領域及び走査解像度の情報をFDV10のために一組のコマンドに変換する。それらのコマンドは、TCP/IPネットワーク接続のような

通信手段を用いてFDV10に伝達され、その捕捉されたデータも同一の手段を用いてCGPコンピュータ1500に戻される。

異なる密度での追加の走査を同一の方法で禁止することができ、新たな走査領域を特定するためにビデオ画像よりも前に走査したデータ点を用いることができる。走査点のビューが、それがスキャナの方と正確に整列するように指向されると、走査領域を長方形のボックスをドラッグするような方法によって指定することができる。データがこの方法によってスキャナと整列すると、ほとんどの3D情報は見るのが困難であり、その結果、そのソフトウェアは、次の節で説明するような色彩で位置指定された各点において、戻りレーザー光の強度を持つ点を表示することができる。強度情報は、時には、データウインドウ内で対象を特定するのに十分なので、新たな走査領域を特定することができる。別の例としては、ユーザーは、ウインドウ内の関心のある領域の位置決めを補助するためにそのシーン内の幾つかのオブジェクトのモデル化及び／又は色着けを行うことができる。新たな走査領域を特定するためにデータウインドウを用いると、ビューがスキャナと整列するので、度のような視差誤差も排除される。

スキャン制御は、ポインティングデバイスを用いてレーザービーム及びハイライト点を実際のシーン内に移動することによっても達成することができる。レーザービームを移動させ、さらに、マウスボタンをクリックするようなユーザーの動作によって関心のある点を特定することによって所望の走査領域を描くためには多数の方法を用いることができる。方法には、レーザーを所望の走査領域の対角線上対向する位置にあるコーナーまで移動することによって境界ボックスを指定し、シーンの上、下、左及び右領域を指定し、走査領域の境界を特定する多角形を表す一列の点を指定し、走査領域のコーナーを指定し、さらに、所望の走査領域の広がりを描くためのダイアログボックスのような他の手段を用いるような操作が含まれる。

点捕捉

また、図17を参照すると、FDV10によって戻されたデータは、点の座標とそれらの強度値とからなる。一つの望ましい実施例においては、走査は、戻り

データが三次元の点1730の整理されたグリッド内に存在するように実行される。スキャナから認識されると、それらの点はビットマップのように規則的な矩形グリッドとして現れる。しかし、各点は、三次元空間内の座標とその位置での反射レーザーパルスの強度とからなる。

各戻り点は、それがFDV10によって伝達されたときに、データウインドウ1620内に表示される。CGP40によってユーザーはデータの3Dビューを対話的に変えることになるが、それは、そのデータが到着していてそのデータの空間的配置のよりよい考えが得られる間である。CGPにおける、データ内の異なる特徴の視覚化を助けることにより、各点は、その位置で反射されたレーザーパルスの強度から色彩による位置の特定を行うことができる。走査暗影1810を図18に示しており、それは、馬の彫刻の表面を表す。図18に示すように、すべてを単色の点で持つ代わりに、異なるレーザー戻り強度値を異なる色で指定することができ、図19に示すように、多数の色着けされた走査フィールド1910を生成する。強度の色による位置の指定は、ユーザーにかなり特別な表面のフィールドバックを提供し、それは、後述するように、目標を定めること及びモデル化の両方に有用である。

生成された点の整理されたグリッドは、走査フィールドと呼ばれる。多数の重複する可能性のある走査フィールドは、縮められて上述の方法で同時に表示される。CGP40内のデータ構造は、走査フィールドのリストを保持しており、それにより、各データ点は常に走査フィールドに関連する。その走査フィールドは通常多くの異なる対象の表面からのデータ点を含んでいるので、それらは次の章で説明するように小さなグループに分割する必要がある。

分割

分割は、同一の対象の表面から走査された点を一緒にグループ化するプロセスである。単一の対象からの点は、走査フィールドの小さな部分となってもよく、

又は多数の走査フィールドを横切って発生してもよい。分割プロセスは以下に説明するようにマニュアルでよく、又は、後に自動分割の章で説明するように自動化されていてもよい。

図20を参照すると、マニュアルによる分割プロセスの最初のステップは、関心のある対象上の走査点を含む1又は2以上の走査フィールド2010を選択することである。1又は2以上の走査フィールドを選択することは、キーボードのキーと一緒に用いることがあるポインティングデバイスを用いるような従来のどのような手段によっても実行することができる。走査フィールドを選択することは走査フィールド内のすべての点を選択することである。そのステップの結果得られた点のグループは、他の対象上の点を取り除くためにトリミングすることができる候補点のプールを形成する。そのプール内の各点は最初を選択するようにマーク付けされ、以下に説明する操作を用いて、選択されたものと選択されていないものとの間の点の状態を切り換えることができる。

図21を参照すると、所望の対象の表面からの走査点2010は、1又は2以上の投げ縄操作を用いて、異なることがあるビューから切り取ることができる。ユーザーは必要に応じてビューの方向を操作して点のプールの中の所望の集団の明瞭なビューを得ることができる。ユーザーは次にポインティングデバイスを用いて多角形の投げ縄の領域2110を描くことができ、それにより、そのスクリーンを2つの領域、つまり、多角形の投げ縄の内部及び外部に分割する。以下の操作の機能を有する。つまり、選択された領域内のすべての点と選択されていないほかのすべての点にマークを付け、他の点に影響することなく選択された領域内のすべての点にマークを付け、他の点に影響することなく選択されていない領域内のすべての点にマークを付けることである。投げ縄操作は、選択をより正確に行うために必要に応じて何回でも繰り返すことができ、それにより、その投げ縄操作の間にシーンのビューが変わることがある。ユーザーは、新たな点の組を形成するために、最新の選択された点の組を切り取ることができる。その新しい点の組は、それが次の章で説明するフィット操作に加わることができるという点で走査フィールドのように振る舞う。図22において、点の3つの新たなグループ2210、2220及び2230が、ここで説明するマニュアル分割の方法を

用いて作られており、また、面の交差している位置の近くのいくつかの点は元の暗影から取り残されている。

幾何学的フィット

一つの望ましい実施例においては、CGP40は、走査された対象の実際の表面をシミュレートするために用いることのできる多くの幾何学的原図を含むことができる。その幾何学的原図は、三角形のメッシュ、平面、円筒、球体、円環体、ライン及び点のような多くの標準的な原図を含む。幾何学的フィッティングの最も簡略化されたフォームは、走査された対象の表面的な特徴を示すために走査点を結合するような三角形のメッシュを用いることを含む。図18の走査暗影1810は図23に示すように描かれるようにメッシュ状2310にすることができる。走査データは規則的なグリッド内で捕捉されるので、隣り合う点を結合することによって三角形のメッシュを作ることは簡単である。ユーザーは、また、深さ及び角度に不連続の差を設定して、特定されたしきい値より大きな値によって分離された隣り合う点をメッシュすることを防ぐことができる。このようにメッシュを外すことは、シュリンク包装の表面と呼ばれているように、より本物のように見える表面を提供する。それは、閉塞端部には人工的なメッシュ表面は発生しないからである。スムーズ化（ノイズ縮小化）及びメッシュの簡略化（ファインメッシュグリッドを必要としない滑らかな領域のメッシュ密度を減少させること）のような、広範な様々な既知のメッシュ操作を、合成メッシュに適用することができる。メッシュの頂点に強度のような情報に応じて色をつけることができる。

上記のように、CGP40は多くの標準的な幾何原図を含む。点をそのような対象にフィットさせる前に、点暗影は上記のように分割しなければならない。一旦分割すると、点の各グループは、幾何学的対象によってフィットすることのできる単一の表面を表すことができる。そのフィッティングは、フィットすべき形状の種類を知っているようなユーザーによって指導することもできる。例えば、部屋の隅を走査した後に、ユーザーには、壁上の点には平面を適合させることができ、パイプ上の点には筒を適合させることができることが明らかになるので、

そのユーザーは特定の対象の適合を要求することができる。このプロセスを半自動で行ってどの形状が最も特定の点のグループに適合するのかを特定することも

できる。

一組の点に平面を適合することは、多くの公知の解像度を持つ簡単な問題である。平面を表すためにCGP40で用いられるパッチの広がり、その平面内の点の凸状のカバーによって決定することができる。例えば、図22に示す3つの点のグループ2210、2220及び2230は、入手できるいずれかのフィッティングアルゴリズムを用いて、それぞれ図24に示す平面2410、2420及び2430に別々に適合することができる。

多くの標準的なアプローチをより複雑な形状をフィットさせるために利用することができる。一つの望ましい実施例においては、2つの段階を含む。つまり、開始点を得るパラメータ予測段階と最適化段階とである。ただし、そのパラメータは全体の誤差を最少化するために変更される。その誤差の総計は、適合される対象物の表面上の各走査点と最も近い点との間の距離の二乗の合計である。最適化段階は、対象物のパラメータによって特定されるその対象物と走査点によって与えられるデータとの間の誤差を除去するために従来の最適化方法を用いる。

円筒形適合装置は、図25に示す点の暗影2510を図26に示す円筒状物体2610に変換する。その円筒を含む、フィットされたすべての対象は、その対象に適合するように用いた元の点を引用する。ユーザーはいつでも最終的な円筒2610又は元の点2510又はそれらの双方ともを見るために選択することができる。マニュアル又は自動の分割方法を用いると、多くの円筒を表す図27の走査暗影2710を、図28に示す最も適合した筒2810に変換することができる。各円筒の直径及び軸が確立されると、マニュアルで又は自動で図29の曲がり部2910を加えることができ、これによって、モデル化プロセスが完了する。

円筒は5つのパラメータによって描かれている。つまり、円筒の軸を描く正規化されたベクトル(2つの独立したパラメータ)、半径及び円筒軸の作用のラインを空間的に配置するために用いられる2つの対称のパラメータである。最終的な円筒の長さは、走査点をその円筒軸上に投影し、さらに、その投影の極値に注目

することによって決定することができる。

円筒パラメータを推測するための2つの新規な方法は、一つの実施例に組み入れられる。円筒用に最初のパラメータを見つける第1の方法は、自動分割章において説明するように、適切な表面法線を見つけることである。すべての法線がユニット長さに設定されると、それらのすべては、原点からユニット球体の表面上の点までのベクトルとなると考えることができる。各垂直ベクトルを用いてユニット球体上の点のグループを累積すると、その最終的な点のグループを通じて平面を決めることができる。その最終的な平面の法線は、円筒軸とほぼ並行である。その円筒軸及び平面が前のステップから与えられると、走査点をその平面上に投射することができる。その投射された点は、その平面内の円によってよく描かれている。それは、その平面は円筒軸と直交しているからである。最も良く適合する円は、その平面に投射された点を用いて計算でき、それにより、その円筒の半径の予測を与える。その平面状の円の中心を3D点に変換することによって円筒軸上に点を与えることができる。

円筒パラメータを予測するための第2の方法は、一組の点を二次曲面に適合することである。それは陰関数表示の以下の式に示されている。

$$F(p)=0=c_1 p_1^2+c_2 p_2^2+c_3 p_3^2+c_4 p_1 p_2+c_5 p_1 p_3+c_6 p_2 p_3+c_7 p_1+c_8 p_2+c_9 p_3+c_{10} \quad (1)$$

ただし、 $p = \{p_1, p_2, p_3\}$ は二次曲面上の点である。

次に、その式は陰関数表示なので $c_{10} = -1$ を得ることができ、さらに、他の9のパラメータを決定するためにすべてのデータ点を用いて最少二乗法適合を実行することができる。所定の組の点に関して最良の適合二次曲面を決定した後は、次のステップは、他の点の近くにある新たな表面(p_s)上の点を実際に見つけることにある。それは、走査点(p_c)の重心を見つけ、次に、 p_s を与えるために二次曲面上の最も接近する点を見つけることによって達成される。 p_s における表面の法線は、以下の式を用いて決定することができる。

$$N_p = D_1 p_s + D_2 \quad (2)$$

ただし

$$D_1 = \begin{bmatrix} 2c_1 & c_4 & c_5 \\ c_4 & 2c_2 & c_6 \\ c_5 & c_6 & 2c_3 \end{bmatrix}, \quad D_2 = \begin{bmatrix} c_7 \\ c_8 \\ c_9 \end{bmatrix}$$

2つの単位ベクトル（ユニットベクトル） u_1 及び u_2 は、次に、それらは互いに及び他の N_p の両方と直交することがわかる。それらのベクトルは、考慮中の点の表面に関する基礎を形成し、その表面上の追加のベクトルは以下のように表すことができる。

$$V_\alpha = u_1 \cos \alpha + u_2 \sin \alpha, \quad 0 \leq \alpha \leq 2\pi \quad (3)$$

基本単位ベクトル v_α は、以下の式を満たす回転 α を決定することによってわかる。

$$v_\alpha \cdot (N_p \times D_1 v_\alpha) \quad (4)$$

その式に対し直交基本単位ベクトル v_1 及び v_2 を与える2つの解法がある。それらの2つの主方向における表面曲率 K は次の式から与えられる。

$$K(v_i) = -v_i \cdot \left(\frac{D_i v_i}{\|N_p\|} \right) \quad (5)$$

円筒表面においては、主たる曲率の1つはゼロ近くになり、円筒の半径は非ゼロ曲率の絶対値の逆数である。円筒の半径（ r ）及び軸を決定するための方法を説明したので、その軸の位置のみを決定する必要がある。ユニット面法線は、 \hat{n}

$= N_p / \|N_p\|$ のように計算することができる。点の重心は円筒の内部に存在する

ので、 $\hat{n} \cdot (p_o - p_s) > 0$ を保証することによって、法線の向きがその円筒内

部を指し示すように、その法線の向きを調整することができる。その軸上の点は

次に $p_s + r \hat{n}$ によって与えられる。それらの開始パラメータは、最少化プロセスにおいて用いられて、その円筒のためにもっとも適合するパラメータを発見することができる。

二次曲面公式を使用して曲率を推定する上記新規な方法は、さらに自動オブジェクトタイプを決定するための新規な方法に使用される。もしもフィットするポイントが平面で良く表されているなら、両方の曲率はほぼゼロとなろう。もしもフィットされているポイントが円筒面から得たものであれば、一つの曲率はほぼゼロであり、他方はゼロではない。もしもポイントが球から得たものであるなら、両方の曲率がゼロでなく、それらの大きさはほぼ等しい。オブジェクトタイプの自動検出を後述する自動セグメンテーションアルゴリズムを組み合わせることにより、通常のスキャンシーンにおいて生じる多くのオブジェクトを自動フィッティングする新規方法をCGP40にもたせることが可能となる。

曲率推定の別の使用法は球面フィッティングである。これは中心点の位置および半径を近似する二次曲面アプローチを使用し、次いで4パラメーター最小化法(four-parameter minimization)を使って球モデルと測定したポイントとの間のエラーを低減させることにより達成される。(4個のパラメーターは中心点および半径である。)円筒形の軸線上の一ポイントを発見するための上述の新規方法は、球心を発見する好適な実施例においても使用される。

上述したセグメンテーション技術は前述した球の組合わせに基づく有用な種々のフィッティングツールを生成するのに使用することができる。たとえば、3個の平面の交わり(これは直角であってもなくてもより)からなるコーナー(隅)は、非常に普遍的なスキャン対象である。指定したポイントグループが図20のポイント2010のような3個の交差平面を含むことが知れていれば、これらのポイントは自動的に後記技術方法を使用して、各々に別個の平面上に存在するポイントからなる3個のサブグループにセグメント化できる。次に、任意の利用可能な平面フィッティングアルゴリズムを使ってこれらの平面を各グループ内のスキャンポイントにフィットできる。後述するもっと一般的な自動セグメンテーションアルゴリズムとは異なり、もしもコーナーオブジェクトが3個の平面から構成されることがわかれば、フィッティングアルゴリズムは円筒形、球あるいは

は他のオブジェクトをフィットする必要はなく、いずれが最もより良くフィットをするかを検査する必要が無く、平面のフィットのみが必要である。図30を参

照して、コーナーフィッティングツールは平面3010、3020、3030をフィットするのみならず、これら平面と交差してコーナーを完成する。図30に示すように、線3040、4050、3060を平面对の交差部に導入することにより、またコーナーの位置を表す頂点3070を導入することにより、ユーザーはさらに有用な情報を得られる。この頂点は単一のスキャンポイントよりもはるかに正確である。なぜならば、各平面は多数のデータポイントを使ってフィットされ、頂点はこれら平面の交わりによって生成されるからである。交線および頂点を使ってコーナーを自動生成する上記の新規方法はCGP40のツールとして使用することができる。

各オブジェクトは当該フィットの品質についての情報を格納する。その結果ユーザーはオブジェクトのクエリー（問合せ）を発し、平均値、標準偏差、および最悪のエラーを調べることができる。FDV10の精度が判れば、CGPあるいはユーザーは、フィットの際にエラーが生じたか否かを決定することができる。エラーは、誤ったタイプのプリミティブをフィットしたときに、あるいは所望の表面からは実際にスキャンされなかった無関係のポイントがデータセット内に残っているときに生じる。さらに、オブジェクトはその幾何学的パラメーターを格納するので、ユーザーは半径、長さ、その他の関心あるものの値を問い合わせることができる。

一般的オブジェクトフィッターの範疇に入るもの（これらはフィットすべきポイント以外にはどの初期情報にも近くないが）に加えて、当該シーン内のオブジェクトに関する予備知識を利用できるある範疇のフィッターがある。そのような予備知識が存在する領域は建設産業の領域である。この領域では、使用するパーツは標準的な寸法および設計仕様にしたがう。例えば、ある特定の製造業者から販売されるパイプの外形は4インチ、5インチ、6.5インチ、8インチおよび10インチの5種類の異なったサイズで製造されているかも知れない。この情報は通常、これらパーツの重要な属性を記載した一覧表に載っている。円筒形フィッターはこれらの表の情報を利用してサーチすべき解答空間（solution space）

を著しく減らすことができる。フィッターは、これらの直径の円筒形の一つに関

する解答をサーチするだけでよい。そのような一覧表を使用するもう一つの方法は、フィッターが一般的な解答に遭遇して、オブジェクト表に記載されている事物とのマッチングを試み、最も近いパラメーター値をもつ事項を発見することである。例えば、7.8インチ直径の円筒によるパイプフィットは上記の例から、表の8インチエントリにマッチしよう。この場合、ユーザー（あるいはフィット操作者）は8インチ円筒をパイプに再フィッティングするか、あるいは7.8インチ円筒を受け入れるかの選択をする。さらに別の使用法は、ユーザーが手操作で表からある特定のエントリ（記載事項）（あるいはエントリの集合）を選択し、当該フィットにそのパラメーターを使用することをフィッターに告げることである。これもまたフィット操作者の解答空間を低減する（これは所要時間を減らすことができる）。

モデリング

前のセクションで述べたように、幾何学的プリミティブのフィッティングは、普通、モデリングプロセスを完結しない。円筒の一端とか壁の一部とかのようにオブジェクト上面の一部のみがスキャンされる場合が多く、3Dモデルの完成には更なるオペレーションが必要である。モデリングは、いくつかのフィット済み幾何学的プリミティブを与えられた上で、3Dモデルの構築を完成させるプロセスである。

拡張、交差（相互的拡張）およびトリミングのような多くの普遍的CADオペレーションがCGP40で利用できる。たとえば、図31の円筒3110は初め床面3120まで延びていない。図32で、円筒3220は床面3120まで拡張されている。これら簡単なオペレーションにより、幾何学的フィッティングによって生成されるオブジェクトから出発してモデル諸部分を迅速に完成することが可能となる。例えば、コーナー付近のスキャンデータからフィットされた3個の平面パッチが与えられたとき、3個の平面を互いに拡張してコーナーの特徴を完成させることは容易である。

オブジェクトの拡張はいくつかの方法で達成することができる。一つの方法は、

拡張すべき幾何学的オブジェクトを選択し、それらをその後を選択されたオブジェクトまで拡張することをオブジェクトに命令することである。拡張の性質は、拡張すべきオブジェクトの型（タイプ）と選択される第二のオブジェクトとの両方によって決定される。例えば、円筒は、第二オブジェクトに近い端部がその中心線に沿って第二オブジェクトの幾何学形態によって確定される無限平面と交差するまで延びる（平面状のパッチの場合は、無限平面はパッチ面であり、円筒の場合は無限平面は上記中心線を含むと共に可能な限り拡張円筒に直角となる面である。）

もう一つの方法は、オブジェクトハンドルを使用することである。オブジェクトハンドルはユーザーが掴むことができるノードである。これらのハンドルは適当にオブジェクトの定義（位置、方向、およびサイズ）に結合されており、ハンドルを移動させることにより、オブジェクトの定義がそれにしたがって変化する。再び述べるが、円筒を例にとると、拡張すべき端部にあるハンドルを掴み、次にそのハンドルを所望の位置まで移動することにより（かつ円筒を拡張することにより）、上述した同じ拡張が達成できる。ハンドルの運動はそれが結合されているオブジェクト部分に依存する。円筒の中心線上のハンドルは中心線に沿ってのみ移動できるように束縛されているが、平面状パッチの境界に付けられたハンドルはそのパッチ面の内側のみで移動するように束縛されている。いくつかのオブジェクトの場合、ハンドルはこれを挿入し、除去することができ、当該オブジェクトの形状の定義を変更することができる。（例えば、平面状パッチ上のハンドルは、平面状パッチの境界上の頂点に1対1の対応をもっている）。他のハンドルにはオブジェクトに対して回転に関する制御を与えることができる。ハンドルによる制御は対話的かつ動的な更新を行う。したがってユーザーは再定義の中間結果を観ることができる。

併合と呼ばれる新規のオペレーションが開発されており、これによって単一オブジェクトの表面のいろいろの部分相结合してCGP40内の単一オブジェクトを形成することができる。人が観たオブジェクトの景観は、しばしばその前にある他のオブジェクトにより不鮮明になることがある。例えば、ある部屋の後方の壁の景観は前方にある柱のため、二つの断片に分けることができる。その領域の

スキャンはその特定のオブジェクト上のいろいろのグループのポイントを発生する。もしも手操作による方法（これは諸々のポイントが同一オブジェクトに属することをユーザーが知っている場合である）ではなく、後述する自動セグメンテーションを使用するなら、分離したポイントグループが形成されるだろう。次に各ポイントグループは別個のオブジェクトにフィットされる。その結果、同一表面の多重断片が生じる。柱により不明瞭化した壁の二つの平面状パッチのような、同一対象物の表面上にあることが知られているCGP 40内に二つのオブジェクトを単一のオブジェクトに併合することができる。各オブジェクトはそれを定義するデータポイントに対する参照を格納するので、併合リクエストを受け取ると、下層にある（underlying）データポイントすべてに新たな幾何学的フィットが行われる。これらのデータポイントは、最良の全体的フィットを達成するための幾何学的形態を構成する部分のデータポイントである。オブジェクトフィッティングの精度を増すこの新規方法は、本発明の好適な一実施例の併合オペレーションに使用される。併合した二つのプリミティブオブジェクトの特性は併合の結果に影響しない。下層のポイントの位置のみが考慮される。

手操作あるいは自動的方法を使って、ユーザーは図33に示すピラミッド3310上のポイントのような、多数のオブジェクト表面から得たポイントの集団（cloud）3320を収集することができ、それらを図34のピラミッド3410の平面状表面のような一組の幾何学的オブジェクト3420に変換することができる。図34に示すモデル化したシーンはスキャンした元のオブジェクトの特徴を正確に表し、モデル化するシーン内の任意の特定の場所の間で行う測定を可能にする。

シーン登録

各スキャンポイントの初期位置は、FDV10の原点をその原点としその軸線がFDV10に対して固定されているローカル座標システムで記述される。それゆえ、FDV10を移動させることなく取られたスキャンフィールドは（すべてのスキャンポイントが同一の座標システムを使用するという意味で）本来的な意味で登録されるしかしながら、もしもFDV10がスキャンングオペレーション

の間で移動されると、そのデータが共有の座標システムを使用するために必要な変換を行う余分の努力が必要となる。これは3個の平行移動と3個の回転パラメーターとを含めて6個のパラメーターを含んだデータセットの剛体変換であり、一旦変換が知ればデータに適用することは容易である。

いろいろのFDV10の位置からスキャンフィールドを登録するのに、ある新規な登録プロセスを使用する。この新規な登録プロセスは、同一の特徴部分を表す2個の異なるシーンにおける一対のポイント、ライン、あるいは平面をユーザーが同定することを要求する。壁の背面および正面のような異なる特徴部分も、ユーザーがそれらの間のずれを知っているなら、使用することが可能である。平面およびラインは以下に述べるようにポイント対に変換することができるので、本プロセスは完全にポイント対に作用する。登録に使用したこれらのポイントは実際のスキャンポイントか、あるいは3個の平面の交点におけるコーナーのような構築点であっても良い。

一組のポイント対を与えられたとき、本登録プロセスは同一線上にない3対の使用可能ポイントのみを探す。これらの3個のポイント対を使って、一つのビューにおける座標システムを他のビューで使用する座標に変換するのに必要な変換を構築することができる。この変換はさらに、すべてが単一の座標システムを共有するようにスキャンポイントを変換するのに使用することができる。便宜のため、本プロセスは第一組のデータセットを固定したままの点とし、第一組の座標システムを使用するために第二組のデータを変換するものとする。

最初のステップは、第二組のデータセットに剛体変換を行い、 x 、 y 、 z 座標を使って第一ポイント対を一致させることである。第二のステップは、両方のデータセットのポイント1と2とで形成されるラインが重なるまで、その第一ポイントの周りに第二データセットを回転することである。第三のステップは、前のステップで確立したラインの周りに、両方のデータセット内のポイント1、2、3で確定される平面が重なるまで第二データセットを回転させることである。

一旦初期推定ができると、これらすべてのポイント対およびエラー最小限化法を使って各ポイント対間の距離の平方の和を小さくすることができる。

上述したポイント登録法を使用するためには、CGP40はライン、平面、お

よびポイント対に対するオフセットを付き平面を変換する新規な方法を使用する。ゼロでない平面オフセットが存在するときは常に、第一シーンの対応点と完全に一致する位置まで、導入した新しいポイントが第二シーン内で移動される。平面およびラインをポイントで置換することにより、最小化のためのエラー関数を書くことが簡単になる。なぜならばこのときは角度および距離のエラーが同時に関与せず、ポイントエラーのみが関与するからである。

平面およびラインを置換するに際して、ユーザーが指定したオブジェクトに対して相対的な位置にあるポイントを導入するだけでよい。なぜならば二つのデータセットの原点が異なるからである。例えば、原点に最も近い位置にある平面内に新規なポイント対を導入しても、空間的に実際に一致するポイントにはならない。というのは、原点が任意であるからである。しかしながら、平面とラインの交点にあるポイント対を導入することは、二つのデータセット内において一致するポイントを与えることになる。平行線のようないくつかのオブジェクト対は新しいポイントを導入するのに使用すべきではないので、以下に述べる「A T O L」と呼ぶ角度許容限界を使用してかかる不適な対を無視する。A T O Lは初期値として10度に設定されるが、もっと小さな値を、あるいは人工的なポイント対を必要に応じて生成するために他の値を、使用することができる。ポイント対は以下の順序で導入される。

ラインと平面との間の角度がA T O Lより大きなすべての平面-ライン対に対して2個の新しいポイント対を導入する。第一の新しいポイントはラインと平面との交点に挿入され、第二ポイント対は第一ポイントからある固定距離（ここでは二つのビューにおけるラインの長さの最小値を選ぶことにする）にある作用線に沿って挿入される。

平面およびポイントのすべての対に対して、新しいポイント対を平面上に導入する。ただしこのとき、平面の法線が新しいポイントと指定したポイントを通過するようにする。

法線が少なくともA T O Lにあるすべての平面对に対して、平面の交線に沿って新しいラインセグメント（線分）を生成し、そのラインセグメントの長さを、任意の平面がそのラインに沿って有する最小値に等しくする。この新しいライン

セグメントは方向を何らもっていないが、長さおよび位置情報の両方をもっている。このステップの後、平面群はもはや不要である。

ラインおよびポイントのすべてについて、指定ポイントに最も近い位置にあるライン上に新しいポイントを導入する。

A T O Lより大きな角度に離隔されたラインの対すべてに対して、4個の新しいポイント対を導入する。新しいポイント対は、元の作用線に沿ったラインセグメントの端点であるが、二つのラインの最近接点の位置を中心とする。新しいラインポイント間の距離は、その作用線に沿って二つのデータセットから測った、ラインセグメントの長さの最小値に等しい。このステップの後、これらのラインはもはや不要である。

上述した平面およびラインの置換をした結果、元の平面およびラインに関する方向情報を保持する一組のポイント対が得られる。導入した補助的なポイント対の組は上述した登録プロセスに使用することができる。

二つのシーンの登録後、同一の物理的オブジェクトを表す二つの個々のビューから得られたプリミティブは、前述した併合技術を使って組み合わせることができる。特に、同じ表面を表す一致する平面状パッチは、組み合わせて一つの拡張した平面状パッチにすることができる。同様にして、一致する円筒表面単一の円筒に併合することができる。

データセットのリーピング

上述した登録プロセスはいずれのデータセット内のオブジェクトの相対位置も修正しない、剛体変換である。登録後、同定された大抵のポイント対、ライン対、あるいは平面对は依然として小さなエラーをもっている。というのは、最小化プロセスは全平均2乗誤差を最小化するに過ぎないからである。ここに示す新規な方法は、ユーザーが、シーンのボリウムを變形することにより同定済みの対を厳密にマッチさせることを可能にする。

任意の測定データについて、各スキャンポイントロケーションに関するある程度のエラーがある。一つのポイントロケーションに関するエラーの大きさは使用する測定技術によって変わるが、ある種のエラーは常に存在する。ここで考えて

いるデータはオブジェクトの表面の特徴を記述するので、データエラーは表面の不規則性を示す。例えば、実際の平面状の表面の測定から得られた一組のポイントはすべてが一平面上にはないかも知れない。測定ポイントの組に最も良くフィットする平面の計算は、ポイントデータセットに内在するエラーのため、実際の平面ロケーションあるいは方向を与えないかも知れない。

平面などの復元した対象に含まれるエラーは復元したオブジェクト間の関係にも同じようなエラーを起こす。例えば、もしもデータが、相互に厳密に90度をなす二つの平面から集められると、これらのデータから生成される最も良くフィットする平面は厳密に90度離れていないかも知れない。同様に、現実には平行である円筒は、スキャンポイントからフィットした後には最も良くフィットさせた円筒が平行でないものとなるかも知れない。復元した対象におけるこれらの一貫性の欠如は測定誤差により生ずるものであり、ポイントが単一のスキャン位置から収集したものであっても、あるいはいろいろの異なる位置からスキャンしたものの合併であっても現れる。

相対システムを使っていくつかの異なる組のスキャンデータが登録されると、フィット不足の問題は実際上大きなものになる。もしも一連の順次的スキャンが収集され、また、前のスキャンで得られたいくつかの認識可能なデータポイントシーケンスに関して各スキャンが登録されると、各スキャンにおける絶対エラーは大きくなりうる。スキャンのシーケンスの終わりに、対象物のロケーションが厳密に知れているなら、それらが既知ロケーションにフィットするよう、スキャンデータポイントを調整しなければならない。2Dの閉じ込み問題および3Dベンチマークマッチング問題は両方とも、上述した問題と性質上類似している。閉じ込み調査 (surveying closure) の応用例では、一連のロケーションを調査し、開始ロケーションに戻ってくるのであるが、累積的測定誤差があるために開始ロケーションおよび最終ロケーションが厳密に同じロケーションでない事態が見つかる。閉じ込みエラーは開始ロケーションと最終ロケーションとの間の距離であるが、これは良く知られている調査の技術を使って、修正後には第一ポイントと最終ポイントが会合するように、集めた他のデータポイントに分散させる。同様にして、既知ロケーションのベンチマーク調査を調査データセットに導入する

と

き、そのデータセットは既知ベンチマークロケーションを収容するように調節しなければならない。閉じ込み問題およびベンチマークマッチング問題は両方とも、ここに述べる方法によって解決することができる。なぜならば、それらは束縛点の変位で記述できるからである。

ここに記述する新規な方法は、当該データポイントを囲むある体積に固体力学の原理を適用することにより、測定した3Dデータセットに含まれるロケーションエラーを矯正し、エラーをポイントセットに分散させる。この方法は、3Dデータセットに課される広範囲な変位束縛条件 (displacement constraints) を満足するための技術を与えると共に、測定誤差をデータセット全体に分散させる。これらのゴールを達成するため、データセットを変形するこのプロセスはワーピング (湾曲法) と呼ばれる。変位束縛条件は両方の制御ポイント (control points) およびタイ (結び) ポイント (tie points) を使って特定することができる。これらの制御ポイントの絶対座標は空間内で既知であり、移動しないポイントであり、またタイポイントは二つ以上のデータセットにおいて同じロケーションを表すが、絶対ロケーションは不明のポイントである。さらに複雑なオブジェクトが関与する束縛条件も記述できる。例えば二つのポイントを指定することによりラインセグメントを、また三つのポイントを指定することにより平面を記述できる。このようにして束縛条件のファミリー全体が指定でき、ポイント、ライン、および平面から成るグループに適用することができる。

すべての束縛条件はゼロあるいはゼロでないオフセット項を含む。ポイント間のゼロオフセットは、それらのポイントが同じ最終ロケーションを共有すべきであることを示すが、そのロケーションがどこであるかを処方しない。もしもこれらのポイントの一つが既知の絶対位置をもつ制御ポイントであったなら移動しないから、束縛条件を満足すよう、束縛を受ける他のポイントが同じロケーションまで移動するように仕向けられる。すべての場合に、最終ロケーションは固体力学の解法でつかわれるエネルギー最小化プロセスで生成される。二つのポイント間のゼロでないオフセットは、ワーピングプロセスを適用した後の当該ポイント

がある距離だけ離れていることを表す。

もしも束縛条件の対象オブジェクトが（ポイントではなく）ラインあるいは平

面であるなら、我々はオフセットに加えてオブジェクト間の角度を指定することができる。このタイプの束縛条件ファミリーを使って、一つ以上のデータセット内の任意数の対象間の関係を指定することができよう。本発明は単一の3Dデータセットあるいは複数の3Dデータセットのいずれが関与しようとも、また束縛条件が同一もしくは別異のデータセット間にあるようとも、うまく機能する。

束縛条件問題の解決は、前節で述べたようにデータセット各々を登録することにより始まる。その結果、すべてのデータが単一の座標系を共有する。次に固体力学理論が、変位束縛条件を満たすように各データセット内のポイントを囲む体積に適用される。ワーピング法が生成された一つ以上の体積に対して、これらの体積が与えられたデータセット内のすべてのポイントを囲むように作用する。これらの各体積は特定の物性をもった変位可能な材料で作られているとみなされる。弾性率が1でポisson比がゼロの等方的材料が使用できる。固体力学の解法が、指定された束縛条件を満たす最小エネルギー変位のパターンを見つける。

我々は、これらの各体積のが可撓性材料で作られている、と描像することができる。もしもある体積を剛体運動をしないように固定し、内部のある点に対して新しいロケーションを処方したとすると、我々はその体積の変形を想像することができる。その場合、注目しているポイントのみならず体積の残りの部分もこの変形に関与する。実際には、束縛条件自体が複数の体積を一体的に固定するのに使うことができる。力学の原理を使って、我々は上記束縛条件を満たす最小エネルギー体積変形を決定することができる。これは、同じ束縛条件を受ける現実の変形可能なオブジェクトに実際に起きる現象を擬似的に表している。

一つの特の実施例では本ワーピング法は、データポイントに課される一組の束縛条件を満たすため、注目するポイントを含むある体積を変形する固体力学の原理を使用する。束縛条件が満たされるのみならず、初期ロケーションエラーの効果が演算対象の体積全体に分散される。

これらのポイントを内包する体積に固体力学の原理を適用するのに有限要素法

が使用される。体積は一組のポイントあるいは頂点とこれら頂点を結ぶ一組の要素とに離散化される。体積の離散化のため、4個のノードをもつ四面体が使われる。

このプロセスの最初のステップは、一つ以上のデータセットに適用される束縛条件の組を集めることである。この段階で我々はワーピングプロセスが満たさなければならない束縛条件を同定しなければならない。これらの束縛条件には立方体のコーナーのような、異なるデータセット（タイポイント）内の同一の物理的ロケーションを表すポイントの同定が含まれる。それらのデータセットは、ワーピングプロセスが完了したときは同じロケーションに現れるものである。タイポイントのいくつかは元のデータセット内でスキャンされたポイントではなくて他のポイントのグループから構築されたものかも知れない。例えば、もしもコーナーで交差する3平面を表す一連のポイントがあったとすると、これらのポイントに3個の平面をフィットすることができ、その結果得られるコーナーポイントの一つのタイポイントとして使うことができる。束縛条件はポイント、ライン、および平面のようなオブジェクトの対、および所望のオフセット、両者間の角度で指定することができる。束縛上意見に関与する二つのオブジェクトは単一のデータセットに含めることができ、あるいは異なるデータセット内に起こすことができる。単一のデータセット内で、我々はラインあるいは平面が平行に留まること、あるいは二つのポイント間の距離が指定した大きさであることを、指定することができる。複数のデータセット間に、我々は同じような束縛条件を書くことができ、あるいは二つのデータセット内に見られる対象が同じオブジェクトを表すことを指定できる。また、我々はいくつかのポイントの実際のロケーションを非常に正確に知っており（ベンチマーク）、データセット内の束縛条件ポイントが既知ロケーションにあることを知っている可能性がある。データセット内の別のポイントを固定するためこれらのベンチマークポイントを使うことにより、閉じ込み問題を解決することが可能となる。というのは、測定したデータポイントが所望の制御ポイントロケーションに厳密に移動し、データセット内のエラーが体積全体にわたって平滑化されるよう、データセットがワーピングされるからである

。

ワーピングプロセスの第二のステップは、前節で述べたように、関与したデータセットすべてを登録することである。ワーピングプロセスにおける第三のステップは注目する領域を開く体積を選択し、その体積を一組の新しいポイントで記述することである。FDV10でスキャンでききる領域は、ビュー体積と呼ばれ、

ピラミッドの先端がスキャニング装置の原点に置いたときのピラミッド形状をしている。ピラミッド形状はワーピングを行う目的上、ビュー領域の範囲を指定するのに使用することができる。またピラミッドはデータポイントと同じ座標系を使って容易に5個の点で記述できる。これらの新しいポイントはデータセットの一部には成らないが、ワーピングプロセスにおいて使用される。これらのポイントの凸開包 (convex hull) は新しい体積の表面を表し、すべてのデータポイントを内部に包含すべきである。このオペレーションは各データセット毎に別個に行われる。

第四ステップは、各データ体積をメッシュ化 (meshing) することである。メッシュ化はまったく空隙を残さない、かつ重畳しない、有限の要素で体積を満たすことである。体積の境界上に確定されており、内部に課される束縛条件に含まれるポイントあるいは頂点の間を、有限要素がまたがっている。データセット内のポイントがすべてワーピングプロセスに含まれる必要はない。束縛条件の指定に仕様されるもののみ、および体積の境界を画定するもののみを含めればよい。初期のメッシュ内の要素は、それらの形状ゆえ、粗末なものであるかの知れない。例えば長い細長素材 (sliver element) は、その形状ゆえに有限要素解析法では粗末な品質をのものになることが知られている。それゆえ、メッシュ化プロセスは実際には反復的に行うものである。メッシュ中に新しいポイントが挿入され、次に古い要素が除去され、メッシュの品質が向上するように新しい要素が導入される。この反復プロセスは、メッシュの全体的品質に満足が行くまで続けられる。好適な一実施例では、4個のノードをもつ四面体要素が使用される。初期メッシュは開始時点の組のポイントに3Dデローネイ三角化法 (3-D Delaunay

triangulation) を適用して構築される。この反復プロセスは、要素品質測度 (element quality measure) を使って粗末な形状の要素を同定し、新しいポイントを導入してその領域を再メッシュ化する。このプロセスは、すべての要素が最小限品質規格を満たしたとき、終了する。好適な実施例はメッシュを改善する新しいポイントを導入するのに最長縁二等分法を使用するが、他の方法を使うこともできる。

第5のステップはステップ1で述べた束縛条件を処理してこれを線形束縛条件系にする。好適な実施例では、最終的束縛条件系は四面体要素の頂点におけるノード変位に関して線形である。束縛条件の所望の形は：

$$C u = q \quad (6)$$

である。

行列Cは要素が定数の定数行列である。Cの行数は系の束縛条件の数に等しい。ベクトルuは四面体要素の頂点の3D変位を表す。ベクトルqは定数係数を含む。もしも束縛条件が斉次であるなら、qの各要素は0である。方程式(6)に与えられている束縛条件の特定の形は任意の線形多重ポイント（一以上のベクトルを含むもの）に対する束縛条件を許容する。

ステップ1で特定した束縛条件の上記の形への変換は、関与する束縛条件のタイプに依存する。2個の点を一体に結びつける場合であれば、束縛条件は

$$p_1 + u_1 = p_2 + u_2 \quad (7)$$

$$\text{又は、} u_1 - u_2 = p_2 - p_1 \quad (8)$$

となろう。

これらの方程式で、 p_1 および p_2 は原点から注目している頂点に至るベクトルである。 u_1 および u_2 は同じ頂点のワーピング中の変位である。方程式(7)は、各頂点の最終ロケーションがワーピング期間中は初めのポイントに変位を加えたものに等しいが、他のポイントの最終のロケーションに等しくなることを要求している。方程式(8)は $q = p_2 - p_1$ と置いた方程式(6)の形であり、ノード変位のx、y、z成分で表した3個の線形束縛条件を与える。方程式(8)を方程式(6)の形に展開したときの3個の方程式にすると、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{1z} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \\ u_{2z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

2個のポイント間の距離のような他の束縛条件はその性質用、非線形である。

この非線形束縛条件は、システムについて成立している幾何学的形態を使用することができ、また線形多重ポイント束縛条件を生ずるための小さな変形仮定と同様に使用できる。例えば、2個のポイント間の所望の距離をある指定値Xとするためには、最終ポイント間のベクトル V_{21} を次式

$$V_{21} = (p_2 + u_2) - (p_1 + u_1) \quad (10)$$

で決定し、次にベクトルの所望の長さを次のように指定すればよい。

$$\|V_{21}\| = X \quad (11)$$

上式はベクトルの内積を使って次のように書ける。

$$V_{21} \cdot V_{21} = X^2 \quad (12)$$

方程式(11)および(12)はノードの変位 u_1 および u_2 で表したとき、共に非線形である。この束縛条件を線形化するため、我々は元の作用線に沿って測った所望の長さを、所望のオフセットに等しいと置くことができる：

$$n_{21} = \frac{(p_2 - p_1)}{\|p_2 - p_1\|} \quad (13)$$

$$V_{21} \cdot n_{21} = X \quad (14)$$

$$\text{又は } [(p_2 + u_2) - (p_1 + u_1)] \cdot n_{21} = X \quad (15)$$

$$u_2 \cdot n_{21} - u_1 \cdot n_{21} = X - \|p_2 - p_1\| \quad (16)$$

方程式(16)の右辺の項はポイント間の所望の距離からポイント間の現在の距離を引いたものである。 n_{21} のx、y及びz成分は束縛条件である。方程式(16)は単一の束縛条件として以下の適切な形に表すことができる：

$$\begin{pmatrix} -n_{21x} & -n_{21y} & -n_{21z} & n_{21x} & n_{21y} & n_{21z} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{1z} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \\ u_{2z} \end{Bmatrix} = x \cdot \| \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 \| \quad (17)$$

ステップ6で最終的な線形方程式系が組み立てられる。このステップには二つの部分がある。その第一は、各四面体要素に対して要素の剛度 (stiffness) を組み立てることであり、その第二は束縛条件処理テクニックを選択して適用することである。要素の剛度の計算および組立は標準的有限要素法の手順に従う。方程式(6)の形の束縛条件を使うと、束縛条件処理方法が関わる。線形束縛条件退こうかを導入するにはラグランジの未定乗数法を使うことができるが他の任意の方法、例えばペナルティ法または変換法も同様に効果的に使うことができる。

ラグランジ未定乗数法を使って、我々は当該システムの各束縛条件に対して最終方程式系の中に新しい変数を導入する。このとき、束縛条件のないシステムに対する静的釣り合い方程式に修正する。それは次式で与えられる。

$$K u = r \quad (18)$$

方程式(18)で、Kはシステムの剛度行列であり、個々の要素剛度の寄与から組み立てられる。uはベクトルの変位であり、本問題の解である。rは外部から加えられた負荷を示すベクトルである。本発明のこの実施例では外部からの負荷はない。したがってrはゼロのみを含むベクトルである。方程式(18)はいかなる束縛条件の効果も含んでいないが、ラグランジ未定乗数法を使ってそれを含めることができ、その結果次の方程式系が得られる：

$$\begin{bmatrix} K & C^T \\ C & O \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ u_L \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} r \\ q \end{Bmatrix} \quad (19)$$

方程式(19)で、K、C、u、r、およびqは前に定義した量である。u_Lは本方法を使って付加的に導入されるラグランジ未定乗数の変数を含むベクトルである。行列C^TはCの転置行列である。Oはゼロ要素から成る行列である。方程式(19)の解はCおよびqによって記述される線形束縛条件を満たす変位uを与える。これらの束縛条件は非線形束縛条件を線形化したものでよいこと、ま

た非線形束縛条件箱の時点では解により満たされないかも知れないことに注目されたい。

ラグランジ未定乗数法の変わりにペナルティ法あるいは変換法を使ったなら、線形方程式系は方程式(19)とは異なったものとなるであろう。しかし方程式の線形系の解は変位ベクトル u に対して類似の値を与える。

ステップ7で、方程式(10)が解かれ、 u および u_L が得られる。大きな線形方程式系を解くための多数の方法がある。この好適な実施例ではプロフィール格納方式 (profile storage scheme) の対称ソルバー (symmetric solver) を使用する。使用できる別のタイプのソルバーは本質的に同じ結果を与えるが、計算速度およびメモリの使用を最適化する方法が異なる。

この実施例では直接ソルバー (direct solver) を使用するが、逐次粗間ソルバー (iterative sparse solver) も同様に使用することができる。方程式(19)に示す方程式系は粗間法に基づくので、適当なソルバーを選択することにより、顕著な速度の改善を達成できる。しかしながら、ワーピングプロセスの総体的結果はこの選択に影響されない。

ステップ8で、現在の変位が所望のレベルの精度を満たすか否かを検査する。もしも現在変形されている形状がステップ1で集めた束縛条件のいずれかに含まれるオフセットあるいは角度に違反するなら、新しい変形形状から出発してステップ5ないし7を反復しなければならない。形状の線形化は、各反復で変化するかも知れない。というのは、体積の幾何学的形状は累積的変形にしたがって変化するからである。すべての束縛条件が許容範囲内で満たされると、ステップ9に進むことができる。

ステップ9はステップ7で計算したノード変形 u を使って体積内における、注目している任意のポイントの変形を決定する。注目している各ポイント毎に、我々は表面上あるいは内部のポイントを含む有限要素を見つけなければならない。もしもポイントがある要素の内部にあるなら、そのような要素がただ一つ存在する。もしもそのポイントがある要素の表面上あるいは縁上にあるなら、その点を含む可能性のある要素がいくつか存在する。これらの要素のどれを選択しても注目するポイントが移動するか否かを決定することができる。もしもその点が要素

間で

共有されているなら、ポイントの変位を発見するためにそれらのいずれの要素を使用しても同じ結果が得られる。一旦ある要素が同定されると、その要素の頂点の変位が u から抽出され、その変位を使って内挿法により内部の任意の点の変位を決定する。本実施例ではこの手順として線形な有限要素形状関数 (finite element shape functions) を使用しており、有限要素解析において普通に用いられるオペレーションである。

自動セグメンテーション

以下に述べる新規な自動セグメンテーションプロセスは前述した手操作モデリングプロセスに類似した逐次オペレーションを含む。あるポイント群 (cloud of points) がセグメント化され、幾何学的プリミティブオブジェクトがポイント群にフィットされ、次いで拡張および挿入のようなモデリングオペレーションを使ってモデルを完成させる。この新規なプロセスにおいて、プロセス全体に対すると同様、これらの各ステップが自動化される。

普通に用いられているマシーンビジョン技術 (machine vision technique) の修正版を使ってスキャンポイントを、プリミティブの幾何学的形状を表すグループに自動的に分け (partition) することが可能である。グリッド化したスキャンフィールドが2次元ポイント配列の形で格納される。この配列は通常のビットマップに多くの点で類似している。スキャンフィールドには単なるカラー情報以上の情報が各ロケーションに格納されている点で、スキャンフィールドはビットマップとは異なる。各ポイントは空間におけるそのロケーションを格納しており、それからスキャナまでの距離および戻りレーザーパルスの強度を計算することができる。ポイントに格納されている3次元位置から計算される深度情報はここに述べる自動セグメンテーションアルゴリズムにとって極めて重要である。もっとも、通常はその他にもイメージスキャンオペレーションに、フィルタリング、格付け (rating)、閾値処理 (thresholding) および細線化 (thinning) のような多くのオペレーションが使用されている。

自動セグメンテーションプロセスの最初のステージはグリッド内の各点におけ

る表面の法線を推定することである。これは多くのいろいろの技術を使用して達

成することができる。本ソフトウェア使用している現実施例は当該ポイントを囲む 3×3 グリッドにおいてそのポイントの最近傍ポイントに一つの平面をフィットする。こうして得られた平面の法線が中心点におけるハウジング線ととして採用される。グリッド内の各ポイントは同じように計算された法線を有する。ただし縁およびコーナーポイントは法線の計算では欠落した近傍ポイントを無視する。各点に格納された法線は3次元ベクトルであり、単位長さをもつように規格化される。

第二のステージで、グリッド上に標準的縁検出フィルタを被せることにより二つの等級付けイメージが生成される。第一格付けイメージはグリッドポイントの深さに縁検出フィルタを重ねることにより、閉じた縁で起きるような深度不連続点を同定するために生成される。種々の縁検出フィルタを使用することができるが、カラーまたは強度に演算を施すよりも、本フィルタは各グリッドポイントに格納されている深度情報に演算を行う。

第二格付けイメージは、法線に縁検出フィルタを被せることにより生成される。法線格付けイメージは実際には法線の x 、 y 、および z 座標とのコンボリューションから生成される3個のサブイメージである。その結果得られる3個の値は2乗の和の平方根を取ることにより組み合わせて一ポイント当たりのスカラー値を与える。第二格付けイメージは壁と床の間の縁で起きるような法線の不連続性の同定に使用される。再び述べるが、種々の縁検出フィルタを使用することができるが、使用される値はカラーあるいは強度ではなく普通の係数である。

一旦二つの格付けイメージが生成した後、それらを2進イメージに変換しなければならない。帰納的識閾値処理のような従来のマシンビジョンアルゴリズムを使用してこのタスクを達成することができる。当該深度および法線格付けイメージ内の各ポイントは、深度および法線の勾配の推定値を含む。再帰的識閾値処理を使用して最高の勾配をもつ領域を孤立化することができる。その結果得られる2進イメージで、最高勾配領域にあるポイントが縁ポイントとしてマークされ、残りのポイントは縁でないポイントとしてマークされる。

上記再帰的しきい値処理により生成された二つの2進イメージのいずれかあるいは両方の中の縁ポイントとしてある点がマークされているなら、そのポイント

を縁ポイントとしてマークすることにより、最終的な2進イメージが生成される。他のすべてのポイントが縁でないポイントとしてマークされる。このイメージは異なる表面上のポイントグループ間の境界を画するすべての縁ポイントを含む。

ポイント区分けプロセスの最後のステップは、接続されたコンポーネントアルゴリズムを使ってポイントを縁で区分けされたグループに集めることである。ポイントは、もしもそれらがグリッドにおいて鉛直にまたは水平に隣接するときのみ、接続されているとみなされる。対角的隣接は使用しない。非常に簡単なアルゴリズムを使ってイメージ内の、縁でないポイントからなる固有のグループを同定することができる。接続されているポイントからなる各グループは次いで初期ポイントセットから切断され、新しいポイントグループを形成する。このアルゴリズムの結果として、各々が単一の表面を表す複数のポイントグループにポイントセットをグループ化される。次節で述べるように新しい各ポイントグループは幾何学的プリミティブによりフィットすることができる。

一旦スキャンされたポイント群が異なる表面上に在るスキャンポイントグループに区分けされると、次のステップは所望の表面にオブジェクトをフィットすることである。このタスクを達成するのに種々の方法を使用することができる。本ソフトウェアの現実施例はオブジェクトフィッティングを二通りの方法で行うことができる。第一の方法は一連のオブジェクトを各ポイントグループにフィットし、測定したポイント間で、およびフィットしたオブジェクト表面間で、距離エラーが最小となるオブジェクトを選択する。第二の方法は前述した2次曲面フィットおよびその結果得られる主曲率を使用して、平面、円筒または球を特定のポイントグループにフィットすべきか否かを決定する。これらのアプローチ以外の、漸進遂行法 (progressive commitment) のような修正した方法もまた使用することができる。その場合、オブジェクトは、最も簡単なものから最も複雑なものまでを順次フィットされ、プロセスは特定のフィットに関わるエラーが許容レベ

ルまで低下したときに停止する。

自動セグメンテーションプロセスの最後のステップは、スキャンポイント境界で停止せずに、可能な限り、完全なオブジェクトの交わりを生成すべくプリミティブオブジェクトを拡張する。元のデータのグリッド性と上述したポイント区分

けアルゴリズムから得られる縁情報とを使って、オブジェクトを拡張し、交差させることができる。表面交差（これは上述した表面法線の不連続性である）から得られるすべての縁に対して、我々は縁のいずれの側にもオブジェクトを拡張して交差を形成することができる。

モデルの注釈

語義豊かな3Dモデルを構成するため、上記幾何学的モデルの個別のパーツに、材料参照番号あるいはパーツ番号のような付加的な、おそらくは非幾何学的な、情報で注釈を付けることができる。この情報はオブジェクト属性を表示する特別のウィンドウを介して手操作で入力することができる。

ユーザーは当該幾何学的モデルの個別パーツをクリックすることにより他のウィンドウからそのような追加情報を回復することができる。同様に、ユーザーはいくつかの選択条件を満足するすべてのパーツをハイライト化することをリクエストすることができる。

自動モデルの注釈にも新規な方法が使用できる。この方法は、任意に与えられたオブジェクトに関する関連情報を含むバーコードをスキャンするのにFDV10を使用する。標準的バーコード読み取り・復号技術を使用して、そのバーコードでスキャンされるオブジェクトに関連する光学的情報が有用なデジタル情報に変換される。捕捉された情報は上述したように手操作で表示することができる。

幾何学的形態の表示および問い合わせ

本モデルは、モデル作成を委ねられたデータウィンドウ1610を介して行われるアクセスを含めて種々の方法でアクセスできる。モデルのビューを操作するのに多数の標準的グラフィックインターフェース技術を使用することができる。好適な一実施例では、水晶玉インターフェースが使用される。この指示デバイスを使ってビューの任意のオブジェクトが選択できる。次いで、オブジェクトに追

加された他の注釈に加えてその幾何学的属性が表示される。データセットの横断（データセットにまたがるデータの取り扱い）はいろいろのレイヤーにオブジェクトを置き、次に注目するレイヤーのみを表示することにより、簡単化すること

ができる。このようにして作成したオブジェクトの数を減らすことはプログラムの対話的性能を増大する。個々のオブジェクトの幾何学的プロパティについて問合せをすることに加えて、オブジェクト間の距離および角度を測定するためのいくつかの標準的ツールを採用することができる。等高線図（contour）の発生、2D断面化(section cutting)、自動寸法記入（dimensioning）のようなオペレーションのために、さらに標準的な技術を使用することができる。

その結果得られるモデルはさらに編集および設計を行うための多数のCADプログラム中から選んだ任意のものにエクスポート（送り出し）することができる。好適な実施例では、CGP40がいくつかの市販のCADプログラムと互換性のあるフォーマットのCADファイルを生成し、次に発生させたデータファイルをそのCADプログラムにロードさせ、CADプログラムを起動することができる。

以下の文書は本仕様の重要な部分である。

モジュラー分解

提案されているCGP仕様の要約

Cyraxソフトウェアの仕様

製品概要

ビュースライドコレクション

序論および概論

モジュールの分解

ユーザーインターフェースモジュール

「ユーザーインタフェースモジュール」は、ユーザーがシステムの機能と直接に交わす対話処理するコードをすべて包含している。このソフトウェアの機能は、当該機能に対するユーザーインタフェースとは別に遂行される。これによっ

て、API（アプリケーションインターフェース）遂行の可能性が拡がるとともに、確実にユーザーインタフェースの特定の型式にアプリケーションが拘束されなくなる。

このモジュールは以下のモジュールを含む：

- ウィンドウ管理
- メニュー、ツールバー、およびシーンビューア (scene viewer) の生成
- イベント派遣
- ユーザーインタフェースの外観（カラー、アイコンの配置等）

「ユーザーインタフェースモジュール」は、オブジェクトデータベースのディスプレイを管理する「モデルビューモジュール」(model viewing module)と密接に対話する。この「ユーザーインタフェースモジュール」は、シーングラフ (scene graphs) の表示、選択 (picking) および管理を行わない。この機能は「モデルビューモジュール」内に包含される。

このモジュールはまた、「有限状態マシン (Finite State Machine)」モジュールに大きく依存する。有限状態マシンモジュールは、ユーザーインタフェースが変化したときの状態とフィードバックとを制御すると共に、任意に特定した時刻においてシステムのいずれの機能がユーザーに利用可能であるかを決定するための基本的ツールとを提供する。

モデルビューモジュール

「モデルビューモジュール」は、オブジェクトデータベースの表示のみならずオブジェクトシーンへのフィードバックおよび補助情報の表示に関与するすべての機能を包含している。ほとんどの基本的機能はインベンター (Inventor、考案者) により提供されるが、この強固なモジュールを包含していることによってイ

ンベンターへの依存性を防止している。

空間データベース (spatial database) を使って高速にオブジェクトを選択する (ピッキング) 機能を遂行するため、シーン内のオブジェクトのピッキングは別のモジュールによって取り扱うべきである。(その別のモジュールは、これを簡略に遂行する実施例ではこのモジュールのピッキング機能を呼出す)。

このモジュールは次のような項目から成る：

－幾何学的オブジェクトからの視覚的オブジェクトノード (visual object node)

e) 構築

－シーンレンダリング

－レンダリングオプションの設定（照明、シェーディング、テクスチャ等）

－視点の変更

－ハイライト／フィードバックオペレーション

「モデルビューモジュール」は「ユーザーインタフェースモジュール」と密接な対話を行い、対話可能なビュー（景観）を与える。インベンタビューワによって与えられる対話的ビュー機能があるため、対話的ビュー操作（通常は「ユーザーインタフェースモジュール」の一部をなす部分）をシーン管理機能から分離することは困難であり、また好ましくない。「ユーザーインタフェースモジュール」は「モデルビューモジュール」が与える機能に依存するが、それはツールや選択したオブジェクト等に対するオペランドを指示するためのシーンへのフィードバックを提供するためである。

「モデルビューモジュール」は、それが含んでいるデータベースオブジェクトおよび幾何学的オブジェクトに強く結合されている。幾何学的オブジェクトはそのデータベース内に別に格納される。当該シーンにとって、当該オブジェクトデータベースがユーザーの観ているシーンと確実に一貫性を保つよう、注意を払うことが必要である。この分離によって、データベースの部分集合のビュー（景観）、オブジェクトをハイライト化してツールへのフィードバックを与えること、およびデータベース内での空間的階層構造を使用することが直感的にできるようになる。

有限状態マシンモジュール

「有限状態マシン (Finite State Machine、FSM)」モジュールは、“状態の集合、それらの状態で行われるアクション、許される状態間の遷移、イベントと遷移との間の対応を特定するための拡張システム” という概念を含んでいる。ユーザーインタフェースモジュールは、任意時刻になされる選択に対していずれ

のツールおよびオブジェクトが利用可能であることを決定するため、FSMを頻繁に使用する。

有限状態のマシンモジュールは次のような事項から成る：

- イベントの取り扱い。
- アクセス不能のツールをマークする（灰色にする）こと。
- エラーがあったときは適切な「状態」を設定すること。
- ツール遂行機能を呼び出すこと。
- オペランドの指示を処理すること。

「有限状態マシンモジュール」は難しい。というのは、ユーザーインタフェースの状態を、それに拡張性があるにも拘わらず正確に特定する必要があるからである。したがって、一つのツールが生成されたときには存在しなくなっているかも知れないもう一つのツールのメニュー事項は、前記一つのツールが選択されたときにグレースケール化しなければならないことがある。

データベースモジュール

データベースモジュールは、当該アプリケーションによって生成されたデータの格納と読出しを含む。データベースモジュールは、データがディスク上に格納されていようとメモリに格納されていようと、そのデータへの迅速なアクセスを提供すべきである。このモジュールは、複数のクライアントが同じデータベース上で動作しうるクライアント／サーバーモジュールを動作させることができるように設計すべきである。

何らかの形態のキャッシュが必要であるのみならず（データベースに対しディスクサポートがあるものと仮定して）、あるオペレーションで使用するオブジェクトを検査する方式が必要であるように思われる。このデータベースは、一層能

率的なオペレーションを実現するために空間的階層構造（spatial hierarchy）をもたせることができる一般的構造を提供すべきである。構造的階層構造および具体化（instancing）機能も用意すべきである。

このデータベースモジュールは次のような事項から成る：

- データベースへの幾何学的オブジェクトおよびイメージの追加。
- データベースからの幾何学的オブジェクトおよびイメージの取出し。
- ディスクへの格納とキャッシュ動作。
- 編集オペレーションのための、データベースオブジェクトの出し入れの検査。

データベースモジュールは、システムのほとんどの部分と密接に連結される。幾何学的オブジェクトにオペレーションを行うモジュールはすべて、このデータベースモジュールをインターフェースとする。

入力／出力（I／O）モジュール

I／Oモジュールは、幾何学的データベースのランタイム状態から非作動状態への遷移、およびその逆の遷移を包含する。I／Oモジュールはまた、幾何学的データベースをいろいろのサードパーティー製CADフォーマット（例えばDXFなど）へ翻訳すると共に、そのようなフォーマットから内部的幾何学的データベースを構築する。

このI／Oモジュールは次のような事項から成る：

- 「データベースの保存／ロード…」
- 「…という名称で保存する」
- 「…からのインポート（取り込み）」

I／Oモジュールは、データベースモジュールおよび幾何学的オブジェクトモジュールと密接に連結される。

幾何学的オブジェクトモジュール

幾何学的オブジェクトモジュールは、システムによってサポートされた様々な幾何学的プリミティブ（**primitives**、基本的要素）を包含する。このモジュールは各プリミティブに対するサブモジュールを含み、ツールモジュール内の様々なツールを介してアクセス可能な基本的機能を提供する。これらのプリミティブは、オブジェクトのかなり小さな有限の集合となるように意図されている。加えて、プリミティブオブジェクトの集合である一つのグループオブジェクトを用意する。一つのプリミティブを、対象とする各オブジェクト（パイピングエルボー、

ラダー等) ごとに一つのプリミティブを用意することは望ましくない。

幾何学的オブジェクトモジュールは、幾何学的オブジェクトを継続的に格納するとともにオブジェクト間の関係を与えるデータベースモジュールと密接な対話をする。(「依存モジュール」の項を参照されたい。)幾何学的オブジェクトモジュールはまた「モデルビューモジュール」とも密接に対話する。モデルビューモジュールは幾何学的オブジェクトを格納するとともに視覚表現を並列的に表示する。幾何学的オブジェクトに対するシステムの機能のほとんどはツールモジュール内のツールに包含され、その結果、たとえば二つの平面から一つの線を発生させるためのコンストラクタ (constructor) をラインオブジェクトに追加する代わりに、「二つの平面からラインを作る」ツールが二つの平面を与えられるとラインコンストラクタの呼出しを行う。これは、既存のプリミティブオブジェクトを変更する代わりに新しいツールを追加することによって拡張性をサポートする形式のモデルとなっている。

幾何学的オブジェクトモジュールは次のような事項から成る：

- ファセット (facet)、ポイント (point)、エッジ (edge)、ライン (line)、およびシリンダー (cylinder) 構造体。
- オブジェクトを表示するための「モデルビューモジュール」の呼び出し。
- オブジェクトに加える位置および方向、色等の変更。
- 領域指定ボックス (bounding box) のようなオブジェクトの幾何学的形状 (geometry) についてのクエリー (query、問合せ)。

依存モジュール (Dependency Module)

依存モジュールは、幾何学的データベースの発生とその履歴を扱う。オブジェクトは他のオブジェクトから発生する。システムはこの発生プロセスを記録するので、ある特定のデータの祖先に変更または追加が行われると、自動的に発生プロセスを反復できる。

このモジュールは、データベースモジュールと密接に対話し、そのデータをデータベース内に格納する。上記依存情報は幾何学的モジュールの一部であり、継続的に格納されなければならない。この依存情報を確実に包含することが望まし

い。そうすれば幾何学的プリミティブが自ら自分の系図に関する情報を維持する必要はまったくなくなる。

依存モジュールは次のような事項から成る：

- 幾何学的オブジェクトを生成するのに必要なオペレーションおよびオペランドの記録。
- 変更を受けたオブジェクトの子孫すべての再生

アンドゥモジュール

アンドゥモジュール (Undo Module、オペレーションの結果を元に戻すモジュール) は、幾何学的データベースを使ったユーザーのランタイム履歴を包含する。アンドゥモジュールは、ユーザーが実行したオペレーションを逆方向に元に戻すのに必要である一連のアクションを記録する。ツールモジュール内の各アンドゥ可能なツールは、これを呼び出すと、実行時に当該ツールのアクションを逆にするオペランドを与える。

アンドゥモジュールは次の機能を与える：

- 「アンドゥ」を呼び出すこと、およびアンドゥオペランドを格納すること。
- リクエストがあったときにこれラン「アンドゥ」呼び出しを適用し、「再実行」スタックを生成すること。

アンドゥ可能な各ツールがアンドゥモジュールへの適切な呼出しを提供しなけ

ればならないので、アンドゥモジュールはツールモジュールと密接に対話する。アンドゥモジュールは、データベースモジュールと密接に対話する際、そのデータをデータベースモジュール内に格納しない。なぜならば、アンドゥモジュールは幾何学的モデルに必要とされる情報を記録するものではなく、ユーザーとのセッションを記録するものだからである。

ツールマネージャモジュール

「ツールマネージャー」モジュールは、ユーザーが利用しうる拡張可能な機能を与える手段を包含する。このツールモジュールは、システムに拡張性をもたせる点で重要な役割を果たすものである。システムに新しい機能を追加することは新しいツールを追加することと同じである。

いろいろのツールは、呼び出しを行うデフォルト方法、引数の選択方法、ユーザーインタフェースの拡張、ヘルプシステムの拡張、およびツール機能の遂行手段を与えることが望ましい。ツール類は、ユーザーへの適切なフィードバックを与えることを「ユーザーインタフェースモジュール」および「モデルビューモジュール」に指示しなければならない。また、ツールはユーザーが行った放棄手続きや内部エラーを上手に処理しなければならない。（「エラーモジュール」の項を参照されたい。）

「ツールマネージャー」モジュールは次のような事項から成る：

- アプリケーションにツールを登録すること。
- ユーザーインタフェースによってリクエストされたツールを呼び出すこと。
- どのようにツールが呼び出されるかを再マッピングすること。

「ツールマネージャー」モジュールは、「ユーザーインタフェースモジュール」および「有限状態マシンモジュール」と密接に対話するが、「ツールキットモジュール」とも同様に対話する。「ツールキットモジュール」は「ツールマネージャー」が管理する実際のツールを提供する。「有限状態マシンモジュール」は、「ユーザーインタフェースモジュール」がツールとしてどの様に振る舞うべきかを、

「ツールマネージャー」が「ユーザーインタフェースモジュール」に指示することを可能にする。

ツールキットモジュール

「ツールキットモジュール」は、拡張可能なツールオブジェクトの集合であって、その各々を「ツールマネージャーモジュール」に与えて管理を受けさせることができる。ツール類は、ユーザーへに提供されるシステムの機能を包含する。各ツールは、呼び出しを行うデフォルト方法、引数の選択方法、与えられられたツールをユーザーに特化するためのフィードバックを可能にするユーザーインタフェースの機能拡張（FSMモジュールを介して提供される）、ヘルプシステムの機能拡張、および当該ツールの機能の遂行手段（データベースおよび幾何学的オブジェクトモジュールの呼出し、幾何学的形状の生成、破壊および編集を含む

)を提供する。

ツールキットは、設計上、他の箇所には述べられていないすべてのシステム機能から成る。

エラーモジュール

エラーモジュールは、システムの一般的なエラー処理機構を包含する。このモジュールは、システム全体で使われるもので、エラーハンドラーの提供、「ユーザーインタフェースモジュール」への呼出しを介して)ユーザーに対するエラーの報告、コード内への主張(assertions)の追加、上記主張が拒否されたときのエラー信号の発生を可能にする。このモジュールのコーディングパラダイム(coding paradigm)には何らかの基本的構造体を追加する必要があるかもしれない。

エラーモジュールは次のような事項から成る：

- エラーハンドラー
- 主張
- エラー信号の発生

-エラー報告

エラーモジュールはシステムの全モジュールと対話しなければならないので、プログラマーに対してできるだけ邪魔にならない最少限の範囲で存在するようにこれを遂行しなければならない。

ヘルプモジュール

ヘルプモジュールは拡張可能な、文脈を判断しうる(文脈感受性の)オンラインマニュアルを包含する。ヘルプシステムはヘルプ記事呼出し型式をもつ一般的マニュアルと、略式の文意を示すヘルプ情報(たとえば、「どうすればいいの?」)との両方を与える。各ツールは、ヘルプシステムを拡張して当該有限状態マシン内の機能にリンクすることにより、文脈感受性を実現する。

ヘルプモジュールは次のような事項から成る：

- ヘルプページの表示とナビゲーション
- ヘルプ情報の索引化およびサーチの実行

ー画面に表示する対話型ヘルプメッセージ

ヘルプモジュールは、「ユーザーインタフェースモジュール」との対話と同様、「ツールキットモジュール」および「ツールマネージャモジュール」と密接に対話する。

データ収集モジュール

データ収集モジュールは、物理的ワールド (physical world) からのデータ収集を包含する。スキャナーやカメラのようなデータ収集オブジェクトは、このモジュールに属するオブジェクトである。データ収集モジュールは、この種のハードウェアからシステムにデータを返すためのデータ収集ハードウェアないし機構に対して作用することができるコマンド集を提供する。拡張可能なデータ収集システムの場合、データ収集ハードウェアは、そのハードウェアにパラメーターを

設定するための、あるいはそのハードウェアにデータ収集タスクを行わせるための、ユーザーインターフェース拡張機能を提供しなければならないだろう。

データ収集モジュールは次のような事項から成る：

ーカメラおよびスキャナーとの通信

ー当該デバイスへの命令を発生すると共にデータを受信するためのユーザーインターフェース。

ーデータベースにデータを追加するためのシステム機能の呼出し

データ収集モジュールは、「データベースモジュール」および「ユーザーインタフェースモジュール」と密接に対話する。

登録モジュール

登録モジュールは、二つの幾何学的データベースを登録し結合するプロセスを包含する。登録モジュールは、二つの幾何学的データベースを選択する方法、データベース間の対応を特定する方法、および二つの別個の幾何学的データベースを併合した幾何学的データベースを構築する方法を含む。

この登録モジュールは、「データベースモジュール」および「ユーザーインタフェースモジュール」と密接に対話する。

レイヤーモジュール

レイヤーモジュールは、幾何学的データベース内の命名されたオブジェクトの組と、その組のオブジェクトの表示およびオブジェクトに作用するオペレーションを可能にするツール集とを包含する。現在、このモジュールの内容は明確に確定していない。

レイヤーモジュールは「データベースモジュール」および「モデルビューモジュール」と密接に対話できることが望ましい。

抽象データ型モジュール

抽象データ型 (Abstract data types) モジュールはアプリケーション特有のデータ型から分離できる。汎用の抽象データ型 (general purpose abstract data types) を集めたものを包含する。

抽象データ型モジュールは次のような事項から成る：

- スタック
- キュー (Queues)
- 単一リンクおよび二重リンクしたもののリスト
- ハッシュ表 (Hash table)
- ヒープ (Heap)

抽象データ型モジュールは他のほとんどのモジュールで使われよう。

ドラフト

C G P仕様 (案) の概要

スマートエレメントの能力

1. 幾何学的形状は初めはポイント群 (cloud of points) として描かれる；その後でメッシュ (網目) として、ライブラリーまたはカタログからコピーした詳細なモデルとして、あるいは対話を通して生成された簡単なモデルとして、描かれる。

2. この幾何学的形状は色、強度、テクスチャ (風合い) を使って、または個々の当該エレメント表面に追加されるビデオ情報を使って、強調することができる。

。

3. 各エレメントには一つ以上の表示 (representation) があり得る。まず、いろいろのレベルの簡略化あるいは抽象化した幾何学的プロキシ (proxies) がいくつかあり得る。これらの簡略化あるいは抽象化はレンダリングをより効率よく行うとともに生成されるビューが錯綜しないようにするために選択できる。さらに、床配置図、立面図、あるいは配管図面のような略線図的レンダリングを行うためのシンボリック表示 (symbolic representation) 象徴的記号を用いた表示) がある。ある種のシミュレーションに適したスマートモデルもあり得る。

4. エレメントには分類目的のためのタグまたは「レイヤー」情報を与えることができる。工場や精製所のモデルを構築するときは、ユーザーは以前に定義した階層メニューからタグを選ぶことができる。例えば、第一レベルで選択するものとしては次のようなものがある：

- * 支持構造体—メンテナンス通路—パイプシステム—その他のもの。「パイプシステム」の範疇の第二レベルのタブとして、次のようなものがある。

- * 水蒸気—水—ガス—オイル—アルコール。

5. テキストウィンドウから各エレメントに任意のテキスト情報を追加することができる。その中にモデルの構築に関するカタログやノートから得られる要約情報を含めることができる。

6. エレメントは外部データベースに収容されている他の情報、たとえばバルブあるいはポンプの型、その等級、製造者、メンテナンススケジュールなどの情報、にリンクすることができる。外部データベースにあるこの情報はハイパーリンク

データベースの形をもつかもしれない。

この情報は、当該データベースを観るビューアーの内容に合わせて観たりブラウズすることができる。

7. ある種の明確な接続情報をもっていることが有益かもしれない。パイプどうしあるいは電気配線どうしの論理的な接続は、C G P の当初の設計条項には存在しないかもしれず、また後に、内在するいくつかのエレメントの幾何学的形状の近似的一致 (near-coincidences) から抽出できるかもしれないが、そのような

近接情報は最初に発見されたときに保存しておくことが有利である。例えば、接続したメッシュをポンプ、パイプおよびバルブなどのいくつかの要素に分解したとき、当初のメッシュの切断線は、これらの切断線を共有する部品間の明確な接触部情報を確立するのに使用することができよう。この情報は後で、接続したパイプ要素の配置の発見、抽出を非常に効率化するであろう。

システム全体の機能性

管理ツール

1. 「OS」レベルでみると、本システムはスキャン管理およびビデオ情報の収集を制御する能力を提供する。スキャンする必要があるエリアを指示するもっと選択性に富んだ方法を与えるユーザーインタフェースは後で与えることができよう。その一つのオプションは「太いブラシ(thick-brush)」パラダイムで、この場合、ユーザーがタイルモデルに含めるべき特徴の概略を与える。次いで本システムが自動で、それに対応する特徴をワールド中に発見し、選択されているエッジ、パイプあるいはIビームに対する適当なスキャン領域を自動的に選択する。
2. やはりOSレベルで、本システムはいくつかのウィンドウを同時に開くことができる効率的マルチタスク能力を提供する。その結果、スキャンプロセスあるいはモデリングオペレーションを実行しながら、一つ以上のカタログまたはデータベースの内容を観ることができるようになる。
3. スキャンしたポイントの集合および任意のビデオ映像の集合に対するデータ管理手段 (data management facilities) を設けるとともに、これらの集合にラベルを付けてアーカイブ化するためのファイル化手段を与える。

モデリングツール

4. 「純粋な幾何学的形状」のレベルでは、基本的ツールがスキャンしたポイントのサブセット (小集合) の選択を可能にし、手操作による分割 (manual segmentation) を可能にする。スキャンしたポイントにメッシュを当てはめる (fit) ことができ、水平線 (すなわち深度座標に突然の劇的変化が見られるところ) となる可能性のある位置でメッシュを発見法的に分離することができる。必要であればこれらのメッシュは単純化することができる。これらのメッシュのうちの選

択した部分に、あるいはもとのスキャンポイントのサブセットに、平面多角形をフィットできる。サーベイポイント (survey points、調査点) を設定することができる；それらのポイント間にラインを引くことができる；多角形間にあるいはメッシュの諸部分間に、破断線 (break-line) を設定することができる。

5. 「離散的エレメント」のレベルでは、一体的な一塊りにして「エレメント」と命名し後に更なる情報を付加することができるような純粋な幾何学的パーツ（部品）を、諸ツールによって収集することができる。メッシュのいくつかのセクション（部分）は、カタログやライブラリーから得られるモデルによって、あるいは象徴的記号を用いた幾何学的プロキシ (symbolic geometrical proxy) で置換することができよう。そのようなモデルの裏側を追加する工夫をしなければならぬかも知れない。はみ出したポイントはこれを除去し、モデルを全体的にすっきりさせ、いくつかの一貫性テストにかけなければならないかもしれない。

6. これらのエレメントには色、強度、風合い、風合いマップ情報を与えることができる。これらのオブジェクトに他の属性を割り当てることができ、また種々のリンクを設定することができる。

7. いろいろのオブジェクトのいろいろの集合を、対話を通して選択し、発見法的にグループ化することができる。

8. ビューの統合はいろいろのカメラ位置から得られたビュー間で行うことができる：

- ・ビュー対ごとの整合 (Pairwise view alignment)。これは、「登録」を利用する本システムの特徴、すなわち二つのメッシュの重畳部分間の相互距離を最小化

することにより重畳部分の登録を試みる最適化プロセス、に基づいている。

- ・データ併合。これは離散的エレメントの位置パラメータの重み付き平均をとることにより、あるいは二つの重畳したメッシュセクションを繋ぎ合わせる (zippering) ことにより行うデータ併合である。

- ・グローバル閉じ込み (global closure) の設定。これは前に設定した景観対の登録に閉じ込みエラー (closure error) を小ざれいに分布させることにより

行う。これは注意深い検討をしなければならない困難な問題である。

視覚化

9. データ収集期間あるいはモデリングプロセス期間における任意時刻に、“水晶占いの玉／手中に収めたモデルで先を見通す”パラダイム (“crystal-ball/model-in-hand” paradigm) を使って、または“通行” (“walk-through”) モードを使って、既存の幾何学的データを対話的に観ることができる。後刻、我々はこれに適当な空間的データ構造および管理機構を追加し、当該モデルが非常に大きくても (100万個以上の多角形でも) 対話できる速さで通行できるものにする。

10. 次のようないろいろのデータレンダリングモードを与える：

——ポイント群——ワイヤフレーム——隠れたラインを削除した後の、陰影はないが輪郭がある可視面の表示——様な陰影面 (flat-shaded facets) ——グーロード—平滑—陰影付きメッシュ (Gouraud-smooth-shaded-meshes)。

11. 床面配置図および立面図のような略線図およびシンボリック表示を用意する。これらの表示には、結果をより効率的かつ効果的なものにするため、種々のコンポーネントに使える2次元プロキシを使用できる。これらの表示は管を中心線で示す表示やスチール構造体を象徴的記号を用いたモーメントフレームグリッド (moment frame grids) などであるかも知れない。また、それらの表示は「管—I S O」図面であるかもしれないし、M I Dプロセス図である可能性も高い。

データベースクエリー (データベースへの問合せ)

12. いつでもモデルから幾何学的情報を抽出することができる。切断面を生成することができる、また、二つのポイント間の距離あるいは平面間の角度を抽出する

ことができる。

13. ある特定の方法 (例えばダブルクリックすること) で離散的エレメントを選択することにより、それらのエレメントに関する属性情報をデータベースから取って来ることができる。もしもこの情報が大きく、ハイパーリンクされた文書フォーマットの形で組織化されているなら、これに対応するデータベースブラウザが開かれ、対応するデータベースブラウザが開かれ、このオブジェクトに対するル

ートページが提示される。

他のシステムとのデータ交換

14. CYRAX CGP内で生成されたデータは、「.crx」ファイルとしてアスキーテキストフォーマットでエクスポート（送り出し）することができる。.crxフォーマットは、CYRAXモデル内に完備してあるすべての情報を符号化することができるべきである。これは、訓練の行き届いたユーザーが特別の解析（例えばある特定の型のエレメントをすべて数えること）を行うためにCYRAXモデルをサーチすることができる外部的プログラムを作ることができる、あるいは他のいかなるデータベースシステムにも頼らずに上記モデルにグローバル修正を施すこと（例えば、ある特定の型のI-ビームをすべて交換すること）ができるようにするべきである。

15.我々は、AutoCADとかMicroStationのようなよく知られた既存のデータベースのためのコンバータをいくつか提供しよう。かかるコンバータは、これらのデータベース中に.crxデータストリームに含まれる情報を適切に挿入するものである。その逆に、我々はCYRAX CGPにとって重要な幾何学的情報を抽出し、それを我々自身のモデリング環境中に取り入れるためのコンバータを、いくつか用意しよう。

16.我々は、任意の離散的モデルエレメントに関わるあらゆる追加情報を格納できるような整った完全な製品モデルデータベースをはじめから与えることは計画していない；我々は、自分で作ったデータ格納手段を使用するようなユーザーをCYRAXユーザーとして期待している。しかしながら我々は、OSレベルで開かれる別のウィンドウを介して上記のデータベースにアクセスできる手段を提

供する。こうすると、これらの外部データベースの中で、モデル部分の幾何学的表示と重要であると思われる当該データベース内の任意の他の事項との間に、CYRAXでないデータ事項間のリンクを直接設定できる。

ユーザーインターフェースパラダイム

17.我々は、MicroStationおよびAutoCADで確立されている対話の様式を（合理的であると思われる範囲で）エミュレートする、すばらしいウィンドウベースの

ユーザーインタフェースを提供することを計画している。これは、アイコンパレット、プルダウンメニューおよびキーボードショートカットを使用することを意味する。

18. グラフィック編集の領域では、我々は精度と速度を組み合わせるためのユーザーが親しみやすい「スナップドラッグ」方式を提供する。

19. いくつかのアプリケーションの領域では、我々は行動的発見法 (behavioral heuristics) を実践するための「オブジェクト関連づけ (“Object Associations”)」機能を開発する。この機能は、ユーザーが特定の目的を達成するのにユーザーがクリックしなければならないクリック数、あるいは任意のモデリングオペレーションにおいて明示的に制御しなければならない自由度の数を最小限に低減する。我々が期待しているのは、スマートな製品モデルの表示に高い象徴度 (symbolic levels) をもたせることは、いかにして複雑な情報を含んだ内容も簡単なものにすることができるかを示す魅力的な課題となる、という点である。

late Jan 96 system functionality discussion of BK, CS, ACA

メッシュをオブジェクトに再構成/単純に

→ スリム・ラック (アパレル・ラック) のような 3D モデル

→ メッシュ 基本 (三角測量)

→ 「シェーディング・ラック」

| Geometric Modeling/Construction | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|--|--|--|--|--|--|
| Mesher | Basic (triangulation) | reshing | N | | | | | | |
| | "Shrink-wrapping" (draped cloth) | | N | | | | | | |
| | Smoothing (averaging & Gauss. filters) | | N | | | | | | |
| | Mesh optimization/simplification | | | | | | | | |
| | Break Lines | ガレージライン | | | | | | | |
| | Mesh to geometric primitive connections | | | | | | | | |
| | Best fit Primitives | ベストフィット プリミティブ | | | | | | | |
| | line | ライン | N | | | | | | |
| | plane (convex face) | 面 (凸面形状) | N | | | | | | |
| | corner | 角 | N | | | | | | |
| | angle beam | アングルビーム | N | | | | | | |
| | box beam (constrained frustum) | | | | | | | | |
| | frustum | 錐台 | | | | | | | |
| | I-beam | I ビーム | | | | | | | |
| | concave face | 凹面形状 | | | | | | | |
| | cone | 錐 | | | | | | | |
| | cylinder | 円柱 | N | | | | | | |
| | flange | フランジ | N | | | | | | |
| | elbow | 肘曲 | N | | | | | | |
| | sphere | 球 | | | | | | | |
| | NURBS line | NURBS ライン | | | | | | | |
| | NURBS surface | NURBS 表面 | | | | | | | |
| | Auto segmentation | 自動分割 | | | | | | | |
| | plane | 面 | N | | | | | | |
| | cylinder | 円柱 | N | | | | | | |
| | Voxel | ボクセル | | | | | | | |
| | Multiple Objects | 複数のオブジェクト | | | | | | | |
| | Intersect | basic 交差 基本 | N | | | | | | |
| | | with pipe elbow mesh | N | | | | | | |
| | extend | 拡張 click first then second | N | | | | | | |
| | | drag first to second | N | | | | | | |
| | merge | 結合 faces/lines 面/ライン | N | | | | | | |
| | | objects オブジェクト | | | | | | | |
| | View Integration | ビュー統合 | | | | | | | |
| | | basic (3 points, line + point, 3 planes, ...) | N | | | | | | |
| | | advanced (heuristic distribution of error) | | | | | | | |
| | | view closure in 3 space (global optimization) | | | | | | | |
| | | オブジェクト (色指定) のエディタ → 3D モデル (リアルタイムレンダリング) のためのビューポート | | | | | | | |
| | Intelligence Modeling/Construction | インテリジェントモデリング/構築 | | | | | | | |
| | Group objects | by hierarchy 階層によるグループ化 | N | | | | | | |
| | | by layer レイヤーによるグループ化 | N | | | | | | |
| | | by instance インスタンスによるグループ化 | N | | | | | | |
| | Labels | ラベル | N | | | | | | |
| | Abstractions | 抽象化 | | | | | | | |
| | | geometric (for walkthroughs, et al) | | | | | | | |
| | | symbolic (for isos. sections, et al) | | | | | | | |
| | Catalog | カタログ | | | | | | | |
| | | manually substitute part for point cloud | N | | | | | | |
| | | semiautomated part preselection | | | | | | | |
| | | advanced catalog browser interface | | | | | | | |
| | Connectivity | 接続 | N | | | | | | |
| | Bar Code reading | バーコード読み取り | | | | | | | |
| | interface to 2D drawing data extraction | | | | | | | | |

点、線、面、体などのデータを扱う

2D ドローイングから 3D モデルを作成するためのインターフェース

半自動的な部分を選択

アドバンスドカタログ プログラム インターフェース

| Underlying System Functionality 下記表記機能 | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|---|--|--|---|---|--|---|---|
| Platforms | SGI IRIX support サポート | N | | | | | | | |
| | Windows NT support サポート | N | | | | | | | |
| | Windows 95/7 support サポート | | | | | | | | ? |
| | Mac Copland OS support サポート | | | | | | | | ? |
| Object database engine | オブジェクトデータベースエンジン | N | | | | | | | |
| Graphic engine | グラフィックエンジン | N | | | | | | | |
| Windowing engine | ウィンドウエンジン | N | | | | | | | |
| Multitasking (OS level) | マルチタスク (OSレベル) | N | | | | | | | |
| OLE 2 for CAD support | CADサポートのためのOLE 2 | | | | N | | | | |
| PDES/STEP compliance | PDES/STEPコンプライアンス | | | | | | | | ? |
| Basic Interface/Operations ベーシックインターフェイス/オペレーション | | | | | | | | | |
| Window Paradigm (follow standards where appl.) | | | | | | | | | |
| Iconic tool palettes | アイコンツールパレット | N | | | | | | | |
| Function key shortcuts | ファンクションキーショートカット | N | | | | | | | |
| Pop-up browsers and selection palettes | ポップアップブラウザと選択パレット | N | | | | | | | |
| Point/Object/Target Selection | ポイント/オブジェクト/ターゲット選択 | | | | | | | | |
| Selection modes | 選択モード | | | | | | | | |
| click mouse (select nearest to click) | クリックマウス (選択対象に最も近いものを選択) | N | | | | | | | |
| brush brush (select nearest to brush) | ブラシ (選択対象に最も近いものを選択) | N | | | | | | | |
| rectangle rectangle (select within rectilinear bnds) | 長方形 (選択範囲が直線的な境界内にある場合) | N | | | | | | | |
| lasso lasso (select within free-form bounds) | ルasso (選択範囲が自由形式の境界内にある場合) | N | | | | | | | |
| Multiple selections (via shift key modifier) | 複数の選択 (シフトキー修飾子) | N | | | | | | | |
| adj. clipping plane for selection constraint | 選択制約のための調整クリッピング平面 | N | | | | | | | |
| Point/Object Manipulation modes | ポイント/オブジェクト操作モード | | | | | | | | |
| snap dragging | スナップドラッグ | N | | | | | | | |
| snap to grid | グリッドにスナップ | N | | | | | | | |
| snap to object edge/center | オブジェクトのエッジ/中心にスナップ | N | | | | | | | |
| View Manipulation | ビュー操作 | | | | | | | | |
| zoom in/out | ズームイン/アウト | N | | | | | | | |
| dolly | ドリフト | N | | | | | | | |
| rotate in x, y, z | X, Y, Z 軸回りの回転 | N | | | | | | | |
| pan | パーン | N | | | | | | | |
| Metric/Imperial Toggle | メートル/インチ切替 | N | | | | | | | |
| save window state | ウィンドウの状態を保存 | | | | N | | | | |
| Global Operations | グローバルオペレーション | | | | | | | | |
| Out (delete) selection | 選択範囲を削除 | N | | | | | | | |
| Copy | コピー | | | | N | | | | |
| Paste | 貼り付け | | | | N | | | | |
| Undo | 取り消し | | | | | | | | |
| single | シングル | N | | | | | | | |
| multiple | マルチ | | | | N | | | | |
| save undo state | 取り消し履歴を保存 | | | | | N | | | |
| free-structure | フリー構造 | | | | | | | | ? |
| Intelligent Operations | インテリジェントオペレーション | | | | | | | | |
| Queries (select/search) | 問い合わせ (選択/検索) | | | | | | | | |
| all | 全て | | | | N | | | | |
| by parameter | パラメータによる | | | | N | | | | |
| ODBC/SQL Interface | ODBC/SQL インターフェイス | | | | | | | ? | ? |
| Macros (OS level) | マクロ (OSレベル) | N | | | | | | | |
| Scripting/Command line language | スクリプト/コマンドライン言語 | | | | | | | ? | ? |
| Published API / Open architecture | 公開されたAPI / オープンアーキテクチャ | | | | | | | | ? |

グラフィックエンジン
ウィンドウエンジン
選択モード
選択範囲
選択範囲の拡大縮小
選択範囲の移動
選択範囲の複製
選択範囲の削除
選択範囲の貼り付け
選択範囲の取り消し

スクリプト/コマンドライン言語
公開されたAPI / オープンアーキテクチャ

Cyrax Software Specification

提案するソフトウェアの特徴

Proposed Software Features

Ia | IB | Ia | IIA | IIB | IIIA | IIIB | Fut./Opt

Scanning/Hardware Interaction

走査/ハードウェア 目的

| | | | | | | | | |
|--|-------------------|---|---|---|---|---|--|---|
| Target Acquisition | 目標取得物 | | | | | | | |
| raw video | 生ビデオ | N | | | | | | |
| corrected video | 修正ビデオ | | N | | | | | |
| laser paint | レーザーペイント | | | N | | | | |
| Target Selection (see Basic Interface/Selection) | | N | | | | | | |
| Selection Parameters | 選択パラメータ | | | | | | | |
| samples in x and y | X及びYにおけるサンプル | N | | | | | | |
| adaptive scanning | 適応走査 | | | | | | | N |
| Data Acquisition | データ取得物 | | | | | | | |
| Axis aligned scans | 軸対称走査 | N | | | | | | |
| spiral scans | 螺旋走査 | | | | N | | | |
| edge aligned scans | エッジ対称走査 | | | N | | | | |
| polygons | 多角形 | | | N | | | | |
| intensity data | 強度データ | N | | | | | | |
| bore-sighted video color/texture | ボアサイトビデオカラー/テクスチャ | | | N | | | | |
| Positioning Functionality | 位置機能性 | | | | | | | |
| Get Point | ポイント取得 | | | N | | | | |
| Reflector Target | 反射目標 | | | | | N | | |
| Scanning simulator with error model | | N | | | | | | |

目標選択
(基本インターフェース参照)データ取得
ビデオ/画像インターフェースを有する走査シミュレーター
DXF (一般的なCADフォーマット) 参照

| | | | | | | | | |
|--|---------|---|---|---|---|---|--|---|
| Open/Close/Save | 開/閉/保存 | | | | | | | |
| raw scan data | 生走査データ | | | | | | | |
| plain ASCII | ASCII | N | | | | | | |
| geometric data | 幾何学的データ | | | | | | | |
| DXF (general CAD 'default' standard) | | N | | | | | | |
| INV (SGI Inventor) INV (SGI 透明者) | | N | | | | | | |
| DGN (MicroStation native format) | | | N | | | | | |
| DWG (AutoCad native format) | | | | | | | | ? |
| IGES 5 (intl mechanical CAD standard) | | | | N | | | | |
| delimited ASCII 明確化した ASCII | | | | N | | | | |
| STL (stereolithography machine format) | | | | | | N | | |
| VDA-FS (automotive CAD) | | | | | | | | ? |
| CADD5 5 (Computervision format) | | | | | | | | ? |
| smart model data スマートモデルデータ | | | | | | | | |
| 3DMF (QuickDraw3D object standard) | | | N | | | | | |
| VRML 2.0 (World Wide Web standard) | | | N | | | | | |
| CRX data exchange (Cvra propr. format) | | N | | N | | | | |
| OBJ (Wavefront native format) | | | | N | | | | |
| Print/Plot basic (window dump) | | N | | | | | | |
| advanced (scaling, labels, ...) | | | | | N | | | |

DWG (自動CAD実行フォーマット)

OBJ (Wavefrontネイティブフォーマット)

IGES 5 (国際機械CADスタンダード)

STL (ステリオリソグラフィ機械フォーマット)

VDA-FS (自動車用CAD)

CADD5 5 (コンピュータビジョンフォーマット)

3DMF (クイックドロウ3Dオブジェクトスタンダード)

VRML 2.0 (ワールドワイドウェブスタンダード)

CRX データ交換

製品の概観

C y r aテクノロジー社のフィールドデジタルビジョン (FDV) ユニットは、当該分野における携帯可能で迅速かつ精確なレーザーレンジスキャン技術を提

供する。このFDVは標的に向けると、FDVが3次元カメラのようにレンジのイメージ（以下、レンジイメージという）を生成する。レンジイメージは、イメージの各ピクセルがカラー2次元ポイントでではなくて空間点である点を除けば、デジタル写真イメージと同様である。FDVは当該オブジェクトから数千個のポイントを集めることによりユーザーがオブジェクトについての3次元データを迅速に収集することを可能にする。

そのようなデータはモデリング、デザイン、およびドキュメンテーションを多重的に行う業務の出発点をなすものである。本コンピュータグラフィック認識（Computer Graphics Perception, CGP）ソフトウェアキットは、レンジイメージの集合を3次元インテリジェントモデルに変換するのに必要な機能を提供する。これらのモデルはFDVがレンジイメージを発生する際に調査員(surveyors)が生成でき、あるいはオフィスで集めたデータからCADオペレーターが生成できる。種々の3次元モデリング従事者の間には広範囲のモデリングタスク、必要な事項、およびパラダイムが使用されているので、CGPは標準的なCADツール、設備管理ソフトウェアおよびインテリジェントモデリング環境と容易に統合できる一般的フレームワークをサポートするように設計されている。

CGPの機能はレンジイメージから出発して完全な注釈付き知的モデルにユーザーを導いてくれる。得られたモデルの構造、詳細、および内容は、ユーザーの完全な制御の下に置かれており、ユーザーはマルチレイヤー構成されたインテリジェント補助ドキュメンテーションモデル(intelligent facility documentation models)に対しその視覚化モデルを10分間で迅速に生成することができる。利用可能な種々の形態のモデリングによって、視覚化を助けるためにのみ意図された「コンテキスト」構造体からなる低解像度の自動発生圧縮モデル(automatically generated shrink wrap models)と、着目中のきわめて詳細な注釈付きサブモデルとの共存を可能にするための統合を、容易かつ一貫して行うことができる。

フレームワーク

CGPは、一つのデータベースを中心として構築される（図1）。データベースに格納されているデータは、生のレンジスキャンイメージ、FDVによって生

成されたビデオイメージ、CGPモデルリングプロセスにより生成された幾何学的エンティティー(entities、対象物)、カタログから取り込んだ幾何学的エンティティーとそれに関連するプロダクト情報、および設備メンテナンス情報のような注釈データを含む多様なソースから得たものである。データベース内のデータはそのデータの内容がそのCGPシステムにとって意味が深いものであるか否かに応じて「内部的」データまたは「外部的」データのいずれかに分類される。幾何学的形状、スキャンポイントおよび幾何学的注釈のような内部的データは、モデリングに対する広範囲なユーザー集団のニーズを満たすのに必要な汎用データとしてCGPが直接に使用する。データベース内に格納されている外部データは、一般的なデータベースクエリー(database queries、データベースへの問合せ)において、または外部アプリケーションに特化したソフトウェアとの関係においてのみ、意味をもつものである。外部データの例は、保守点検した化学工場のポンプが使われたことを示すデータとか、ある特定の部品製造業者とか、あるいは建築上のサブシステムのデザイナーのホームページへのポインターなどがある。内部データは外部データのエレメントを参照することができるが、CGPはこのデータを理解し、操作し、あるいは提示する手段を全くもっていないので、それを使用するためには外部クエリーまたは外部パッケージに頼らなければならない。この概念のもっと完全な説明は「インテリジェントモデリング」の項に記載する。

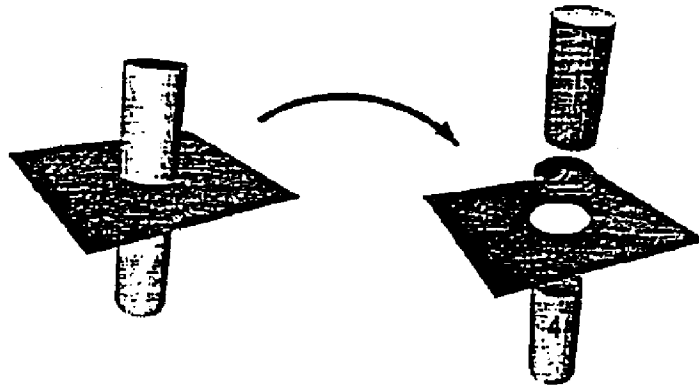


Fig. 2 - Mesh/Mesh Mutual Cut

図2 メッシュ / メッシュ マニュアル カット

レンジデータを三次元モデルに変換するプロセスは、通常、現実性取得 (reality acquisition) と呼称されるが、これは、図1に示すデータベースの左側に現れる。データベースの右側には二つの型のタスクがあることがわかる。その一つはユーザーコミュニティ（それは唯一人の場合から化学工場の各部である場合までありうる）に対するデータプレゼンテーションに関するもの、もう一つは他のソースとの間の幾何学的データの取り込みと読出しに関するものである。これらのタスクはFDVを使用するために特化されたものではなく、ユーザーは幾何学的形状の作成および操作をしなくてよい。

現実性取得プロセスはスキャニングとモデリングという二つのプロセスに分かれる。CGPは、ビデオイメージとレンジスキャンデータを収集するために、FDVスキャナーを操作するのに必要なすべての制御手段を提供する。これらの両方ともデータベースの形でアーカイブ化される。集めるデータの量、データの解像度、およびスキャンすべき正確な領域の制御は、「スキャン制御」ツールを介してユーザーが行える。

所望のモデルの型およびモデリングしているシーンの内容に応じてレンジスキャンデータを幾何学的モデルに発展させるため、3つのツールキットがCGPにより提供される。各ツールキットは特定のモデル型用に最適化されており、したがってモデリングタスクのいろいろの部分に対していろいろのツールキットを使用することが期待される。「ビジュアルマジック」ツールキットは、汎用の複雑

なオブジェクトやシーンのモデルを構築するための迅速なメッシュ発生機能を与える。「プレハブラボ(Prefab Lab)」はレンジデータおよびメッシュデータをプレハブ化されたパーツで置換する機構を与える。これらパーツのモデルは外部のカatalogから入力され、あるいはCGPを使って生成されるオブジェクトの具体例(instantiations)として与えられる。「構造ショップ(Structure Shop)」は、ポイント、線および面プリミティブとこれらプリミティブに作用するいろいろのユークリッドオペレーションとを与える。ユークリッドオペレーションは建築構造体のような基本的な幾何学的構造体の構築に有用である。

「オブジェクト型(Object Types)」に関する節で詳細に述べるように、三つのツールキット間に機能互換性(interoperability)を与えてあるため、本システム

のユーザーは与えられたタスクに対して適切であるように思えるツールキットをどれか選択してから、いろいろのツールキットを用いた結果を統合し、一貫した単一のモデルにすることができる。

「調査(Inquiry)およびプレゼンテーション」システムは、当該データベースに対する視覚的フロントエンドであって、これによってユーザーはデータベース内にある外部データを閲覧、照合、拡大することが可能となる。ユーザーは、生成されたモデルおよびサブシステムをいろいろの点に移動したときの視点から観ると、データベースの諸部分を視覚化したり、あるいは基本的構造を示す線図を生成することができる。メンテナンス計画、サブシステム名、および他のリファレンスの参照などの外部的情報は、CGPデータベース内のオブジェクトと関連づけることができる。データベースが表現する現実世界のシステムが実在する間、ユーザー集団はこのデータを問合せ(query)、取り出し、更新することができる。

「データ交換」システムは、既存のCADシステムにCGPを連結することができる。この結合は、様々なCADフォーマットからのデータ変換ルーチンおよび様々なフォーマットへのデータ変換の形で実現される。FDVとCGPを使って生成されていない販売者のパーツカatalogをシステム中に取り込んで「プレハ

ブラボ」で使用することができる。再設計しなければならないパーツは、C G P データベースからAutoCADへ、あるいは再作業しなければならない他のC A D パッケージへ、エクスポートすることができ、次いでC G P データベース中にインポートし直すことができる。

図1に示す様々なシステムおよびツールキットは、ユーザーの遠近法的視点から観た単一のコヒーレントシステム（coherent system、一貫性のあるシステム体系）に密接に統合される。ユーザーは、視覚的なウィンドウ-アイコン-マウス-アンド-ポインタ環境で作業し、単にいろいろのメニューをプルダウンするか、または、いろいろのツールバーにアクセスすることによって、モジュールからモジュールを渡り歩く。大抵の作業はキーボード入力を必要とせず、多くのC A D システムで広く使われている神秘的コマンドライン引数の入力を必要としない。その代わりとしてユーザーは、小さな、しかし強力なツールセットから命令を選択することにより、およびこれらの命令を作用させたいオブジェクトをクリックす

ることにより、幾何学的形状をモデリングする。視覚的対話が本システムのフィールド有用性の鍵になっており、したがってC G P 開発上の焦点である。

本書の概要

本書の残りは、システムについての高度なC G P 仕様をユーザー向け機能ガイドの形にまとめたものである。その記載形式は簡潔ながら十分に説明を尽くしているとはいえ、必要事項の完全な仕様（すなわち性能の詳細、エラーの取り扱い、本書執筆の時点で未だ時期尚早であったその他の詳細の説明）と取り違えてはならない。同様に、ユーザーがオペレーションを行うのに何をするかという表現方法で（例えば、「ユーザーはポイントセットをクリックしてから、当該ポイントの組から面を生成するためには平面ツールをクリックする」というように）多くの機能を記述するが、これがある特定のユーザーインターフェースの仕様であると勘違いしてはならない。むしろここで行う説明は、ある種のユーザーインタフェースを通して利用可能な一つのオペレーション（上の場合は“ポイントセットから面へ”というオペレーション）を明快に述べる簡単な一方法であるに過ぎ

ない。ユーザーが利用可能な機能にアクセスする最良の方法を決定するよりも先に、ユーザー層の調査、ユーザーインターフェースのプロトタイプ化、および究極的にはユーザーインターフェース仕様をどうするかを決定することになる。

本書は、図1のシステムフレームワークに基づく複数の節に分節する。各サブシステムおよびツールキットは、それが与える機能およびそれが受け取りもしくは生成するデータ型を通して記述する。初代のシステムの機能範囲を超える機能拡張性をどこに追加するかは本書の至るところで示す。これらの説明は、初代のシステムの構造を明確化し、初代システムの中に構築しなければならない拡張可能性を理解するためのものであり、次の3年間に開発される完全なシステムの未来像を示すものである。

スキャン制御

F D Vとの対話はC G Pスキャン制御機能を使って行われる。F D Vは、ビデオデータおよびレンジデータ (range data) の両方を捕捉することができ、捕捉

したデータをC G Pに提示することができる。C G Pはスキャンすべきものの位置および解像度に関する情報をF D Vに与える責任がある。F D Vは、ビデオに基礎をおく新規なターゲティング (targetting、目標物の捕捉) の方法を使用するが、これは大きな距離にある小さなオブジェクトを精確に捕捉することができる方法である。C G Pはこの方法へのアクセスを提供する。「スキャン制御」機構は視覚的な対話機能とポイント-アンド-クリックオペレーションパラダイムとを強力にサポートする、これは全機能を装備した完全なシステム実用モデルの下地をなすものである。

ビデオキャプチャー

ビデオキャプチャーツールボタンを押すことによってF D Vの標準ビデオカメラから得られるシーンのR G BイメージがC G P中に転送される。ユーザーのリクエストによってビデオイメージを命名し、注釈を付け、データベース内に格納することができる。ビデオイメージはこれを一組のレンジスキャンに関連づけることができる(下記の「レンジ-ビデオの関連づけ」の項を参照せよ)。

ズームキャプチャー

「ズームキャプチャー」ツールは、あるシーンのRGBイメージがターゲットウィンドウ内に存在するときにユーザーが利用できるツールである。ズームキャプチャーツールをクリックしてから目標とするウィンドウ内のイメージ上のポイントをクリックすると、指示ポイントの方向にとった穴ズームイメージ (bore sighted image、穴から観えるイメージ) をFDVに捕捉させ表示させることができる。この穴ビデオイメージを命名し、注釈を付け、データベース内に格納することができ、また標準のビデオイメージにできると同様に、一組の色合いスキャンデータに関連づけることができる。「アンズーム」ツールは、ユーザーが標準ビューへ戻ることを可能にするツールである。

ビデオイメージブラウザ

ビデオイメージブラウザは、ユーザーがビデオイメージのサムネイル

(thumbnails) を次々と選ぶことによりデータベース内の一つのイメージをサーチすることを可能にする。

ビデオイメージに関連したレンジスキャンはすべて、ハイライト強調すなわち選択することができ、あるいはユーザーがモデルビューアのビューポイント（視点）をビデオイメージが得られた位置に設定することができる。

ビデオイメージブラウザは究極的に、スマートモデリングシステム用のクエリーインターフェースが完備したとき、そのパーツをなすものである。「このイメージに関連したレンジスキャンのすべてを見つけよ。」とか「1995年12月12日に撮られたビデオイメージのすべてを見つけよ。」と言うようなクエリーは、汎用視覚データベースのクエリーユニットの一部となるであろう。上に列挙した特別の目的をもつクエリーは、この方向における出発点を与える。

スキャンニング

ビデオイメージ（標準であるとズームであるとかかわらず）がターゲットウィンドウ内に存在するときはいつでも、ユーザーはスキャンツールを利用することができる。ユーザーは、ターゲットウィンドウ内のビデオイメージ上に軸線整合 (axis aligned) したボックスをドラッグすることによって、一つのスキャンデータを指示する。指示された空間領域から、FDVがレンジスキャン

(range scan) データを生成する。

レンジスキャンとは、軸線整合したほぼ長方形の、深度情報に関するグリッドである。FDVで生じるミラー（鏡）のポジショニング（位置決め）において僅かなエラーがあると、グリッドは厳密な長方形にならない。レンジスキャンは、XおよびY方向にスキャンした多数のポイントを示すX解像度およびY解像度をもつ。X、Y解像度は、固定したある二つのポイント間のポイント数または距離を使ってユーザーが設定することができる。

レンジスキャンの各グリッドポイントは、3次元デカルト座標点と、当該座標点におけるレーザー応答強度測定値に関連づけられる。3次元デカルト座標とレーザー強度値とを結合することによってスキャンポイントが定義される。定義により、レンジスキャンとは行および列によって順序づけられたスキャンポイント

の配列である。レンジスキャンはまた、スキャナーが実際にスキャンポイントを得ることができなかったところに立てられたフラッグを含むことができる。

レンジスキャンは作業データベース (working database) に自動的に挿入される。レンジスキャンは、これを命名し、注釈を付けることができる。

レンジビデオイメージの関連づけ

通常、レンジスキャンは自動的に、そのスキャンのターゲティングに使われたビデオイメージに関連づけられる。デフォルトでは、レンジスキャンが撮られると、関連するビデオイメージ（標準かズームのいずれか）が（既に格納されていなければ）データベース内に格納され、ビデオイメージとレンジスキャンとの間の関連が作成される。この関連は、スキャンした領域のピクチャーにアクセスするため、あるいは所定の位置から撮られたスキャンを孤立させるために、使用することができる。

実時間スキャン表示

FDVによって得られたスキャンポイントは、スキャン中でも任意のアクティブデータワールド内で観ることができる（「モデルディスプレイ」の項を参照）。これらのポイントは、スキャン完了時まで、表示以外の任意のオペレーションで利用可能である。

スキヤンのキャンセル

F D Vがレンジスキヤンを生成している期間中いつでも、スキヤンキャンセルツールが利用可能である。この特徴的機能はスキヤンポイントの収集を終了する。この時点までに撮られた不完全なレンジスキヤンはデータベースに挿入される。

「視覚的マジック」

「視覚的マジック (Vsual Magic、VM)」ツールキットは、ユーザーに最小限の対話を通して一つのシーンについて、スキヤンポイントを三角形メッシュのモデルに変換するための迅速な視覚化ツールを提供する。VMツールキットのオペ

レーションで注目すべき点は、任意のオブジェクトのモデリングを行うことができる極めて一般的な機能を提供することである。以下に述べる「プレハブ ラボ」および「構造シヨップ」とは異なり、VMツールキットは三角形メッシュの観念を超える観念を何ももっていない。この事実により、単一の汎用データ型に対して実行すべく用意された種々の強力なオペレーションが実行できるようになる。セクション「—」で述べたように、C G Pにおける任意の幾何学的表面は、これを三角形メッシュに変換することができるとともに、これに「視覚的魔法」ツールを使ったオペレーションを適用することができる。

レンジスキヤンをグリッドメッシュへ

「レンジスキヤンをグリッドメッシュへ」ツールは、F D Vを使ってモデルを生成するもっとも簡潔な方法を提供する。レンジスキヤンが得られたときにユーザーはそのスキヤンを選択して「レンジスキヤンをグリッドメッシュへ」ツールをクリックし、そのスキヤンから三角形メッシュを生成することができる。そうして得られるメッシュは、当該スキヤンの長方形グリッド化方法 (rectangular gridding) に基づいて三角化されてある。グリッドメッシュは、レンジスキヤンから直接に生成されなかった非グリッドメッシュと区別される。一つのグリッドメッシュは、スキヤナーの位置情報とそのポイントの行および列とを維持する。無効のポイントはメッシュに含められない。また、ユーザーが指定したパラメーター値を超えるメッシュおよび三角形も除外される。レンジスキヤンはデータベ

ース内でメッシュと置換される。メッシュはワイヤーフレームやゴーランド陰影 (Gourand shaded) を含めた多様な形態で観ることができ、また、隠れた線描きとして観ることができる(「モデルディスプレイ」の項を参照)。

グリッドメッシュの単純化

グリッド化したメッシュは、実質的に平面である領域で、三角形を除去することによって単純化することができる。ユーザーはグリッド化したメッシュを選択してこのツールをクリックすることができ、その結果、メッシュに導入すべき最大限のエラーに見合う任意の適当な数(ユーザーが指定したパラメーター値)の

三角形を除去することができる。元のグリッドメッシュはデータベースの中で、この単純化されたグリッドメッシュにより置換される。

グリッドメッシュスムージング

各ポイントのレンジ深度 (range depth) を近隣のポイントとの間で平均化することにより、グリッドメッシュ全体あるいはグリッドメッシュ内のいくつかの領域を平滑化(スムージング)することができる。平均化に使う型(ガウス型、単純平均化など)および近隣メッシュのサイズはユーザーが指定する。このツールを選択する前にメッシュ領域を多角形に選択することによって、スムージングを特定領域に限定することができる。

元のメッシュは、データベース内の平滑化されたメッシュで置換される。このツールを繰り返し能動させることにより、当該メッシュまたは領域にスムージングを反復実行することができる。

メッシュの整列

「メッシュ整列(Mesh Alignment)」ツール(たとえば「フリーハンド回転」、「フリーハンド平行移動」、「移動して貼り付け」)を使って、手操作でおおよそ整列した二つのメッシュ(グリッド化したものでもグリッド化していないものよい)をより正確に整列させることができる。指定した最初のメッシュはアンカーメッシュで、移動しない。二番目のメッシュは、当該二つのメッシュが重畳する領域でそれら二つのメッシュをよりよく整列できるように調節される。元のメッシュは、第二メッシュのグローバル変換マトリクスを変更したうえで、デー

データベース内に維持される。通常、このステップは「メッシュジッパリング(mesh Zipping、メッシュ縫い合わせ)」ステップに先だって行うものであるが、「構造ジョップ」または「ブレハブラボ」を使って別異の、ただし重畳する、視点から生成された二つのシーンの登録（両者のワールド空間における相対位置の決定）に使用することができる。後者の場合、メッシュでない幾何学的プリミティブは上記の整列オペレーションを行うため、一時的にメッシュに変換される（「オブジェクト多形態化」の項を参照）。

メッシュジッパリング

二つのメッシュ（グリッド化したものおよびグリッド化していないもの）はメッシュ「ジッパリングツール」を使って単一のメッシュに併合することができる。その結果生ずるメッシュは常にグリッド化されていないメッシュ（以下、非グリッドメッシュという）である。メッシュジッパリングとは、二つの重畳した領域間の距離がユーザー指定の距離未満であるときは常に重畳領域を縫い合わせることをいう。通常、このオペレーションの前にメッシュ整列が行われる。二つの元のメッシュは、接合した非グリッドメッシュで置換される。

メッシュによるメッシュ切断

「メッシュによるメッシュ切断」ツールによってメッシュは別のメッシュで切断することができる。両方のメッシュはグリッドメッシュでも非グリッドメッシュでもよい。選択した第一のメッシュは切断されるメッシュ（被切断メッシュ）である。第二のメッシュは、切断を行うメッシュ（切断メッシュ）であって、オペレーションにより変化しない。二つのメッシュの交線が計算され、その交線に沿って被切断メッシュが分割される。切断メッシュとの滑らかな交線を与えるため、必要に応じて被切断メッシュに追加ポイントが挿入される。被切断メッシュはデータベース内で、被切断メッシュが細分化されて種々のコンポーネントを表現するある数の非グリッドメッシュにより置換される。通常、このオペレーション後に、切断されたいくつかのコンポーネントを削除するオペレーションが続く。それによって、たとえば壁その他のより複雑なオブジェクトと捻れた角度をなすあるパイプを表すメッシュの交線を、明確化することができる。このオペレー

ションを「オブジェクト多形態化」機能（下記事項を参照）と組合せれば極めて強力である。

メッシュ／メッシュ相互切断

このオペレーションは、上記の「メッシュによるメッシュ切断」と同じであるが、ただし両方のメッシュが相互に他を切断すること、および両方がそれらの非グリッドメッシュで置換される点異なる。したがってあるメッシュ化した平面

がメッシュ化したシリンダーの軸線と垂直に交差するシリンダー（図2）にこのオペレーションを実行すると、四つの別個のコンポーネントが生じる。

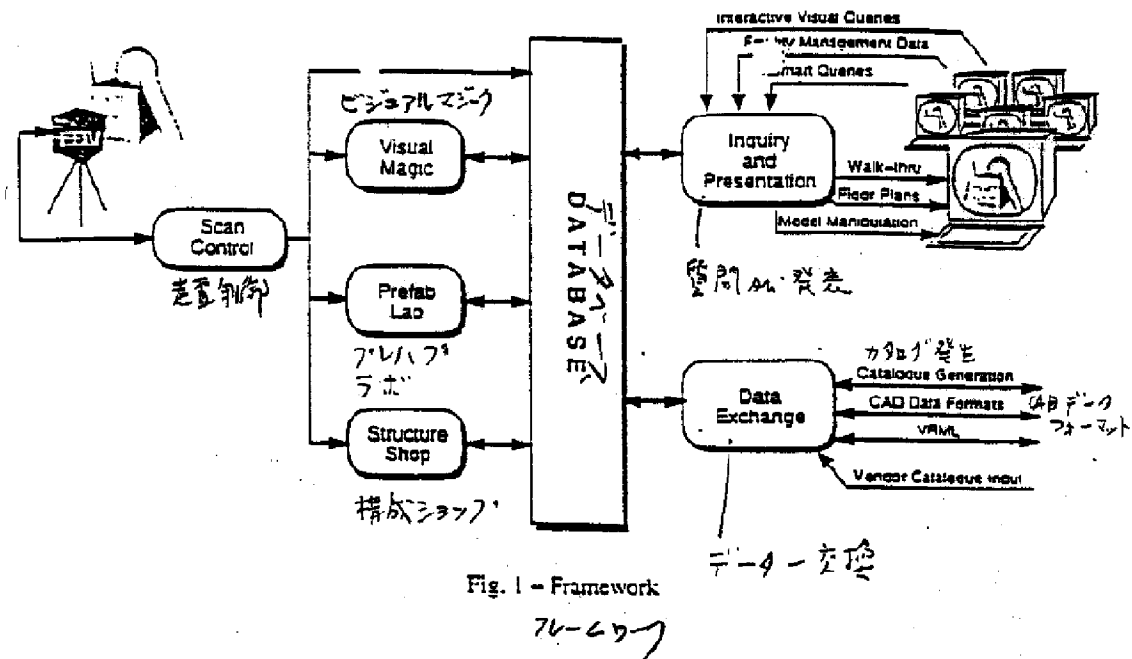


Fig. 1 - Framework

メッシュ重畳部のトリム（刈り込み）

二つのメッシュが重畳するとき、一方のメッシュはそのままに残し他方のメッシュをトリムして前者メッシュに継ぎ目なく接合させることが好ましいことがある。「メッシュ重畳部のトリム」ツールは、このオペレーションを行うものである。このツールは、重畳が始まる領域でトリムメッシュを（ユーザー指定の距離の範囲内で）切断し、トリムしたメッシュ重畳部分を捨て、必要に応じて継ぎ目なしの接合を形成して静的メッシュに仕上げるための頂点を追加する。入力する二

つのメッシュはグリッドメッシュでも非グリッドメッシュのいずれでもよい。静的メッシュは不変のままデータベース内に残る。トリムしたメッシュは一つ以上のコンポーネントメッシュに分割される。これらのコンポーネントメッシュは常に非グリッドメッシュである。「オブジェクト多形態化」機能（下記）と組み合わせたときの本ツールは、シーン内のいろいろのパーツの視覚的連続性を維持しつつ、メッシュのパーツをプレハブオブジェクト（下記の「プレハブ ラボ」で得られる）で置換することを可能にする。

非グリッドメッシュの単純化／最適化

非グリッドメッシュのメッシュ単純化は、計算機を利用する高価なタスクで、多数の主要な研究所で研究されている。CGPは、将来この分野の研究努力で得られるいくつかの機能を提供するであろう。

プレハブ ラボ

「プレハブラボ(Prefab Lab, PL)」ツールキットは予め構築されているサブモデルを、一つのスキャンシーンに統合する機能を与える。これらのサブモデルはPLツールキット内で生成することも、外部のカatalogかCADプログラムから取り込み、あるいは他のツールキットを使って生成されたパーツから構築することもできる。

グループ化したオブジェクトおよびプロトタイプ概念

「プレハブラボ」は、インテリジェントモデルを構築し使用するにあたって重

要な役割を果たす二つの概念をサポートする。二つの概念とは、グループ化したオブジェクトとプロトタイプ（以下、グループオブジェクトおよびグループプロトタイプという）である。グループオブジェクトとは、単なる幾何学的プリミティブの集合または単一のエンティティとして機能する他のグループオブジェクトである。これは概念上、ほとんどの線描きプログラムにおけるオブジェクトのグループ化と等価である。グループオブジェクトは同一の座標空間に存在し、変形しないオブジェクトとして機能する。当該グループに対して実行されるオペレーションは、そのグループの中のすべてのオブジェクトに実行される。

プロトタイプとは、ある幾何学的シーン外部に存在するオブジェクトの範疇で

あって、当該シーンの中で当該オブジェクトを具体化するためものである。プロトタイプは単一の幾何学的プリミティブから、あるいはグループオブジェクトのいずれかから形成することができる。プロトタイプは本質的に、当該プロトタイプのすべての具体例に関する一般的な情報を格納する「メタオブジェクト」である。プロトタイプの具体例はパーツと呼ばれる。次の一例が明確な理解の助けとなる。

台所のモデルを作っているある人が、ある椅子の3次元メッシュモデルを構築するとする。「視覚的マジック」ツールキットを使って、彼は椅子の各脚およびシート¹のメッシュを別個に生成する。4本の各脚をスキャンするのを避けるため、彼は1本の脚のモデルを生成し、そのコピーツールおよびペーストツールを使って4回、シーン中にそのオブジェクトを配置する。この時点で、彼は椅子の脚の色を青色に変更することを決心するとする。もしも彼が1本の脚の色を変更すれば、脚のすべてが色を変更するであろうか？それは、脚がパーツであるか否かにより決まる。すなわち、脚がプロトタイプ（この場合、色のような情報を四つの脚が共有している）であるか、あるいは単にあるオブジェクトのコピー（この場合、脚の間に何の関係も格納されていない）であるかに依ってきまる。データベース内に格納されるプロトタイプはシーン中のどこでも具体化することができない。プロトタイプは、アクティブなデータベースを超えて存在することができる。しかし、オブジェクトは一つのシーン中のエンティティとして完全に自己完結している。シーンからオブジェクトを取り除くと、そのオブジェクトはデータベース

スからも取り除かれる。

グループ化／グループ化解除

「グループ化」ツールは、1つ以上のオブジェクトまたは一組のパーツを取りあげ、一つの新しいグループ化したオブジェクトを生成する。このグループ化したオブジェクトは上記の入力オブジェクトからなる、階層構造をもつ集合である。グループ化したオブジェクトは幾何学的プリミティブ、パーツその他のグループ化したオブジェクトから生成することができ、一つのグループ化したオブジェ

クトを形成することのできるこれらエンティティは、データベース内で新しいグループ化したオブジェクトで置換することができる。「グループ化解除」ツールは、データベースからグループ化したオブジェクトを取り除きそれをそのコンポーネントからなる具体例で置換する。

カット／コピー／ペースト

「カット」ツールは、ユーザーが後のペーストオペレーションを行うために、シーンから1つ以上のオブジェクトを削除することを可能にする。当該エンティティは、アクティブなデータベースから除去され、コピー／カットバッファに格納される。コピーツールは、元のオブジェクトあるいはパーツがアクティブデータベースから除去されない点を除き、カットツールと同じである。コピー／カットバッファは、カットあるいはコピーされた最終エンティティのみを格納する単一レベルバッファである。

ペーストツールはコピー／カットバッファ内のエンティティをアクティブデータベース中に置く。もしもコピー／カットバッファ内のエンティティがパーツであると、アクティブデータベース内に新しいパーツが生成される。もしもコピー／カットバッファ内のエンティティがオブジェクトであると、その複製がアクティブデータベース中にコピーされる。

エンティティを一つのデータベースから別のデータベースにカットしペーストすることができるよう、一つのセッション期間中、すべてのデータベースにまたがる単一のコピー／カットバッファが用意される。コピー／カットバッファは本

質的に、ビュー、編集、所望のオペレーションができる一つのオブジェクトデータベースである。

「フリーハンド移動」

「フリーハンド移動」ツールを使って対話的にエンティティを移動することができる。選択したエンティティの周りに移動マニピュレーターが生成され、そのエンティティを対話的に移動することができる。新しい位置はデータベースに反映される。

「フリーハンド回転」

エンティティは「フリーハンド回転」ツールを使って対話的に回転させることができる。選択したエンティティの周りに回転マニピュレーターが生成され、そのエンティティを対話的に回転することができる。新しい向きはデータベースに反映される。

「移動して付着」

「移動して付着」ツールを使って、一つのエンティティを他のエンティティに対する適当な方向に向けるように運動させることができる。ユーザーは、3つまでのポイントを運動させるべきオブジェクト上に選択するとともに、固定したオブジェクト上に対応する付着ポイントを選択する。このインタフェースは、これらの付着ポイントを、相互矛盾しないように強制的に運動させる（すなわち、すべての付着が達成されるように、運動可能なオブジェクトを位置させる方法を用意する）。付着ポイントの対応を同定すると、付着を実行すべく運動エンティティが再配置され、再指向され、更新した位置がデータベースに反映される。この付着は一時的なものであり、オペレーションが完了したときは消滅することに注意されたい。一旦付着したオブジェクトを結合しておくために、ユーザーは「グループ化」ツールを使うべきである。

「ペースト貼り付け」

「ペースト貼り付け」ツールは上記の貼り付けツールと同じであるが、これはユーザーがカット／コピーバッファからオブジェクトをアクティブデータベースワールド中に貼り付けることを許容するものである。

「フリーハンドスケーリング」

「フリーハンドスケーリング」ツールを使って、エンティティを対話的にスケーリング（scaling、縮尺設定）することができる。選択したエンティティの周囲にスケーリングマニピュレーターが生成され、エンティティを対話的にスケーリング実行を可能にする。新しいスケーリングはデータベースに反映される。エンティティのローカル座標システムのX、Y、およびZ方向にスケーリングすることができる。エンティティがオブジェクトである場合、初期設定ウィンドウを介してスケーリング束縛条件（一様スケーリング、一様X方向スケーリングおよび

一様Y方向スケーリング等)を特定することができる。パーツの具体例に対してはスケーリングの初期設定は当該パーツに委任される。

「スケーリングして付着」

「スケーリングして付着(Scale to Attach)」ツールは、要求された付着(Attachment)を行うために束縛条件の下でオブジェクトをスケーリングする点を除き、「移動して付着」ツールと類似である。オブジェクトの新しいスケーリングはデータベースに反映される。

「プロトタイプへのオブジェクト」

「プロトタイプ」ツールは一つのオブジェクトまたはプリミティブから一つのプロトタイプを生成し、そのプロトタイプをデータベース内に格納する。元のオブジェクトないしプリミティブはデータベースから取り出されて新たに生成されたプロトタイプの具体例で置換される。そのプロトタイプは、たとえばアクティブデバイスからそれに関連するすべてのパーツが除去されても、明示の「パーツ削除」命令が出されない限り、データベースに存在し続ける。プロトタイプには名前と注釈が付けられる。

「プロトタイプブラウザ／パーツの具体例化」

「プロトタイプブラウザ」は、データベース内のすべてのプロトタイプをサーチする機能を提供する。プロトタイプはブラウザ中に表示され、ブラウザからアクティブなデータワールド中にドラッグすることができる。アクティブデータワールド内のオブジェクトに付着されているプロトタイプからパーツを生成するのに「移動して付着」と「スケーリングして付着」とを使うことができる。プロトタイプブラウザから生成される新しいパーツは、関連の配置情報とともにアクティブデータベースに格納される。

「パーツをオブジェクトに」

「パーツをオブジェクトに」ツールは、パーツをオブジェクトに変換し、プロトタイプから得られるすべての情報を、そのオブジェクトとは関連をもたないオブジェクト中にコピーする。これは、ユーザーが自分のニーズをほぼ満たすパーツを選択し、そのパーツをユーザーが編集するにあたり、同じプロトタイプから

生成された他のオブジェクトには影響を与えずに、編集することを可能にする。

「多形態化機能」

「多形態化機能(polymorphism)」は、ある型の引数を必要とする一つのツールを適切に作用させるよう、一つの型のオブジェクトを他の型のオブジェクトに自動変換するための機能である。もしも別の型のオブジェクトに変換すべきオブジェクトが当該オペレーションによって変更されないものであるなら、多形態化機能はユーザーにとっては暫定的なものであり、目には見えない。もしも変換されるオブジェクトが当該オペレーションによって変更されるものであるなら、多形態化機能は永久的なものであり、ユーザーにはそのオペレーションをキャンセルする機会が与えられる。

多形態化機能の主要例は当該システム内の各オブジェクトまたはパーツを三角形メッシュ形状をとらせる機能である。グループ化したオブジェクトは、それらのコンポーネントを三角形メッシュに変換することにより形成される三角形メッシュの合併 (union) をとることにより、三角形メッシュに変換することができ

る。したがって、各オブジェクトを三角形メッシュに多形態化できる機能をシステムに課すことは、システム内の各プリミティブの幾何学的形状を三角形メッシュ形状にする機能を課すことと本質的に同じである。

多形態化により永久的に三角形メッシュ形状にされているグループ化されたオブジェクトは、それらの階層的構造を維持するが、それはオブジェクトの集合としてではなくメッシュの集合としてである。注釈、名前、およびその他の外部データベース情報は、その階層中に維持される。

プレハブプリミティブ

本システムは、具体例として表し、移動させ、スケーリング設定し、表示し、メッシュ変換することができる一組の幾何学的プリミティブを与える。これらのプリミティブは、それらから他の幾何学形状、例えば立方体形状、円筒形状、円錐形状、プリズム形状、円盤形状等を組み立てることができる基本的な幾何学形状である。プリミティブに特有のオペレーションはまったく用意しないので、システムにプリミティブを追加するには、幾何学的形状を捕捉する基本的なパラメ

ータ指定方法、表示ジェネレータ、メッシュへの変換、およびシステムに包含するデータベース表示を用意することに他ならない。ディスプレイ発生ルーチンとメッシュ変換ルーチンは、複雑性を表す引数 (complexity argument) として 0 と 1 の間の一浮動点小数を使う。これは、与えるべき詳細の程度 (例えば円筒形状を近似するために使う平面数) を決めるときの補助とするためである。この引数はシステムのユーザーがいつでも設定することができる。

「プレハブプリミティブ」は、本来的に単純であるので、引き伸ばした立方体などの他のプレハブプリミティブのグループとして構築しうる I ビーム (Ibeam) のようなオブジェクトを表示するのには「プレハブプリミティブ」使用しない。

パラメーター化したプロトタイプ

パラメーターの特定によって定義できる一般的なパーツ (以下、パラメータ化したパーツという) であってユーザーがそのパラメーターを設定することができる

るものを提供することは、長年の目標である。スケーリングに束縛条件を設けるという考え方は、一般的なパラメータ化したプロトタイプを用意するという考え方を簡単にしたものである。パラメータ化したプロトタイプがあれば、ユーザーはこれを使って例えば溝の幅、一組の孔の間隔、あるいはスツールの脚の数を設定することができる。こうすればプロトタイプの小さなカタログでより大きなニーズに応えることができるであろうが、しかしプロトタイプを記述するのに著しく複雑な機能が必要となるであろう。

「構造ショップ」

「構造ショップ」機能は、大きな、主として平面的構造体や支持構造体 (例えばビルディング) を生成するための付加機能、およびポイントおよびラインのサーベイ (調査) を行うための基本的機能を与える。「構造ショップ」機能は、ポイント、ライン、および平面オブジェクトを、ユーザーにとって利用可能なパレットに付加し、これらオブジェクトを操作するための簡単な対話機能を提供する。

「スキャンポイント抽出」

ユーザーは、「スキャンポイント抽出」ツールを使ってレンジスキャンからポイ

ントを切り取ることができる。ユーザーは、レンジスキャンを選択してから、彼が抽出したいと望むポイント周辺にループをトレースするか、あるいはこれらのポイントの周囲に多角形を描く。選択したレンジスキャンは、抽出ラインを描いた領域の内側のポイントおよび外側のポイントを別個に含む二つのレンジスキャンで置換される。レンジスキャン名は固有の識別子で捕捉され(例えばRS35はRS35_1とRS35_2に分かれる)、新しい各コンポーネントスキャンに注釈がコピーされる。

「ポイントから平面を」

平面オブジェクトは平面内において境界で仕切られた一組の多角形である。その多重輪郭をなす境界線 (multi-contoured boundary) は、エッジと頂点とから成り、これらは必要に応じて隣接する平面間で共有することができる。「ポイント

ツールから平面を」ツールは、一組のポイントを与えると、それに最もよく適合する平面を計算するものである。そのポイントの組はレンジスキャンあるいはメッシュのいずれかから得たものでよい。(このことは、多形態化ツールがあるので、これらのポイントが任意の幾何学的オブジェクトまたはパーツから得られることを意味する)。平面の境界は、最も適合する平面中にこれらのポイントを投影することにより、かつ凸状殻 (convex hull) を計算することにより、生成される。ユーザーが設定した初期設定に応じて、上記のポイントが導かれた元のオブジェクトがデータベースから削除され、あるいは損なわれずに残る。新しい平面オブジェクトはデータベースに挿入される。

「ポイントからコーナーを」

「ポイントツールからコーナーを」ツールは、一組のポイントから3つの平面オブジェクトを生成する。このポイントの組は、レンジスキャンまたはメッシュのどちらか一方から得ることができる。3つの平面が一つの頂点とその頂点から延びる三つのエッジを共有する。その共有頂点と一对の共有エッジを除いて、各平面オブジェクトは、その平面に投影したとき、そのポイントに属する凸状殻によって境界を画される。ユーザーが設定した初期設定に応じて、上記のポイントが

導かれた元のオブジェクトがデータベースから削除され、あるいは損なわれずに残る。3つの新しい平面オブジェクトはデータベースに入れられる。

「穴追加／領域追加」

このツールを使って平面オブジェクトに穴 (holes) および追加的輪郭 (contours) を加えることができる。いずれの場合もユーザーは、当該平面オブジェクトを、これを一部分として含むように無限平面上に一つの輪郭を描く。「穴追加」ツールの場合、その結果生じる輪郭が、与えられた平面オブジェクトから減算され、その結果、必要に応じて頂点が追加され、または削除される。

「領域追加」の場合は、新しい輪郭と既存の多角形との台併 (union) がとられ、必要に応じて頂点が追加され、または削除される。

「対話的頂点移動」

ユーザーは、マウスで多角形の頂点をドラッグすることができる。これらの頂点はオブジェクトによって特定される平面内に在るように束縛される。また、ユーザーは、頂点を正確に配置することができるようにするため、一つまたは二つのスナッピング平面 (snapping plane、正しいポイントの付近のポイントを指定すると正しいポイントが選ばれるようにする平面) を同定することができる。一つのスナッピング平面を追加することによって、その平面のすべての頂点の周りにスナッピング領域が生成されるとともに、その平面の至るところで弱い (より小さい) スナッピング領域を生成する。ユーザーは、容易にマウスで頂点をドラッグすることができ、その結果、その頂点が他の平面に整合し、あるいは別の平面内にある頂点に付着することができる。二つのスナッピング平面を指示すれば、指示した二つの平面の各々に対して上述したすべてのスナッピング領域が生成される。しかしながら、それに加えて3つの平面 (すなわち指示された二つの平面と、ドラッグされた頂点を含む平面) の交点の周りに極めて大きいスナッピング領域が生成される。もしもユーザーがある頂点を別の頂点へスナップすると、その頂点は共有頂点となる。

二つの平面が共有する頂点は、二つの平面によって共有されるライン内でのみドラッグすることができる。3つ以上の平面によって共有される頂点をドラッグ

することはできない。

頂点は、同じ平面内にある他の輪郭とも相互作用する。スナッピングはこれらの他の輪郭に属するすべてのエッジ頂点で起こる。穴のないある領域（以下、閉塞領域という）を開く輪郭を移動すると、その輪郭は領域や穴を表す他の輪郭と交差するかもしれない。そのような輪郭の頂点を動かした結果は、その多角形内にある閉塞した領域の合併である。同様に、穴を画する輪郭の頂点を動かすと、その輪郭の閉塞した領域が、その平面内にある他のすべての閉塞した多角形から減算される。

その頂点の新しい位置はデータベースに反映され、この頂点を終点として使用するエッジもまた更新される。

非共有頂点

「非共有頂点」ツールをクリックして共有頂点を選択すると、共有されていた頂点は、独立に移動・相互分離できる頂点の独立なコピーポイントに変わる。元の共有頂点は上記のコピーで置換され、データベースから削除される。

「頂点挿入／削除」

頂点はこのツールで挿入し、削除することができる。頂点は挿入ポイント位置をクリックすることにより挿入される。頂点はその頂点を指示することによって削除される。共有頂点は、それが参画する平面オブジェクトのすべてから削除される。そのような変更はすべてデータベースに反映される。

「平面併合」ツール

ユーザーは、二つの平面オブジェクトを「平面併合(Merge Plane)」ツールで併合することができる。このオペレーションは、二つのオブジェクトがほぼ同一平面上にあることを調べ、もしそれらが同一平面状にないと、処理を進める前にユーザーに警告する。平面の併合は、データベースで指示された二つのオブジェクトを単一の新しい平面で置換する。その単一のオブジェクトとは、二つの元のオブジェクトを発生したポイント全体に最もよく適合 (fit) する平面である。元の平面オブジェクト上の頂点は新しい平面に投影される。ただしこのとき、投影は頂点の共有に課された束縛条件を維持しつつ行われる。新しいオブジェクト

の境界は、併合された平面オブジェクトのすべての境界の合併である。

「ポイント的自由ポイントに」ツール

「ポイントを自由ポイントに」ツールは、スキャンポイント、メッシュポイント、または頂点のどれかから、自由不動ポイント (free standing point) を発生する。自由ポイント (free point) とは、任意の表面の外に存在する、特に注目する頂点である。自由ポイントは、表面を構成しないデータオブジェクト (no nsurface data object) であり、したがってメッシュに変更することができない。自由不動ポイントは、FDVを使って基本的な (属性たるラインその他の) サー

veyを行えるように意図されている。自由ポイントは、名前を付け、注釈を付けることができ、データベースに格納される。

「自由ライン作成」

「自由ライン作成」ツールは、二つの自由不動ポイントから一本の自由不動ライン (free standing line) を生成する。この自由ラインはあらゆる面の外に存在し、それゆえメッシュに変換することができない。自由ラインは、FDVを使って (プロパティライン等の) 基本的サーveyを行うためのものである。自由ラインは、これに名前を付け、注釈を付け、データベースに格納される。

「調査とプレゼンテーション」

「調査とプレゼンテーション」ツールキットは、データベースに格納されている非幾何学的データを修正する機能のみならず、クエリーを発し、データを表示するための機能を提供する。このツールキットはシステムの他の様々なツールキットとの密接な統合を提供する一方、キットを独立なシステムに分離する。これはFDVユニットかモデル再構築ツールのどちらか一方は使わないだろうが様々なC y r a ツールで生成した情報へのアクセスを望むユーザーに対し配給することになる。

「ビューデータワールド」

データワールドの各幾何学的内容は、そのデータワールドの3次元表示を表示する対話的な視覚的ブラウザを使って観ることができる。各幾何学的オブジェ

クトあるいはパーツは、データベースの部分集合である一つのデータワールドに属する。任意の数のビューを独立に開いて使用することができる。

同じデータワールドに属する複数のビューを使って、「[スキャンポイントの抽出]ツールなどとは異なり)特定の視点を含まないオペレーションを実行することができる。これは一つのビューにおいていくつかのオペランドを指示すると共に、任意の数の他のビューにおいて他のオペランドを指示することにより行われる。

「対話的ビューオペレーション」

ユーザーはデータワールドビューをズーム拡大し、回転し、パン移動（カメラの左右の移動）をすることができる。これらのオペレーションは、プラットフォームが対話の速度でフレームを生成することができる能力をモデルのサイズおよび複雑度および必要なフレーム率が超過しない限りにおいて、対話的なものに行うことができる。

「対話的飛行」

ユーザーはフライスルーパラダイム (fly through paradigm) を使ってモデルを通過するナビゲーションを行うことができる。このパラダイムではユーザーが、シーンを観る想像上の目の動き（速さ、方向、および向き）を制御する。このフライスルーは、プラットフォームが対話的な速度でフレームを生成することができる能力をモデルのサイズおよび複雑度および必要なフレーム率が超過しない限りにおいて、対話的なものに行うことができる。

これまで、極めて複雑なモデルに高いフレーム率を許するためにこのプロセスを最適化する重要な研究が行われている。今後のCGPにそのような研究の成果を組み入れることが我々の希望である。

「ビューの命名と保存／ロード」

ユーザーは、現在のビューに名前と注釈をつけてデータベースに保存することができる。名前を付けられたビューは任意のデータワールドビューウィンドウにロードすることができるので、保存した視点でウィンドウの視点を置換することができる。

「名前を付けたビューの削除」

名前の付いたビューはユーザーのリクエストによってデータベースから削除することができる。

「標準ビュー」

ユーザーが指定する原点およびユーザーが指定する距離に相対的な6個の標準的ビュー（左側面、右側面、正面、背面、頂部面および底面）が任意のデータワールドビューで直ちに利用可能である。

直交図的 (Orthographic) / 透視図的 (perspective) トグル

一つのデータワールドは正射影法または遠近法による投影図を使って観ることができる。様々なツールキットすべてから得られるオペレーションは、どちらの投影法を使用したかには関係なく、正しく機能する。

「データワールドの統合」

ユーザーは、二つのデータワールド内の対応するポイント対を指定することにより、1つのデータワールドを第二のデータワールドに併合することができる。ユーザーは、少なくとも3つの縮退してないポイントの組を与えなければならない。それらのポイント対から、可能な限り（最小二乗法の意味で）密接な対応が満たされるように第二ポイントデータワールドを再配置する変換が計算される。第二データワールドはデータベースから除去され、計算した変換を受けた当該データワールド内の全データが第一データワールド中にコピーされる。

「距離」

距離ツールを使って、ユーザーが指定する当該モデル内の二つのロケーション間の距離を計算し、表示することができる。

（この節の残りの部分は漠然としており未完成である。私はこの節を終了しなければならないが、この節の終わるに当たって「インテリジェント」モデルへ向けて大きな地歩を獲得する非常に一般的な方法を述べる。）

ビューの引数

各オブジェクトパーツ、またはプリミティブは任意数の命名されたビジュアル表示を与えることができる。ユーザーはオブジェクトの「表示属性」(“represent

ation attribute”)」を設定することにより、これらの名前を付けた

ビジュアル表示のいずれをオブジェクト、パーツ、またはプリミティブあるいはシーン全体に使用するかを指定することができる。各オブジェクトには、そのオブジェクトに命名したビジュアル表示が存在しないときに、あるいは命名されているビジュアル表示がまったく与えられていないときに使用するデフォルトの表示が与えられている。命名されたビジュアル表示は、ワイヤフレームや領域指定ボックス (bounding box) のようなシステムに付与されている描画スタイル (drawing style) であり、そうでなければ当該モデルを低解像度にして表した別のモデルか、または当該オブジェクト (例えば複雑なバルブを表す二つの円錐) のシンボリック表示のような別のモデルに対するポインタである。

普通、プリミティブは、少なくとも次の表示——ワイヤフレーム、隠れたライン、領域指定ボックス、および不可視のもの——の属性値を与えるが、正規のデフォルト値としてそのうちの「表面」をマークする。

また、属性／値の対をオブジェクトのビジュアル表示の一部として与えることにより、色とか反射率のような表面のプロパティパラメーターもビジュアル表示を介して与えられる。一階層内のエンティティは、そのエンティティ内にその属性に対する値が何ら指定されていないときは、それに最も密接な祖先 (ancestors) の値を使用する。そのエンティティあるいはその祖先によって何の値も指定されていない場合、(色とかライン幅のような) オブジェクトを線描きするのに必要な各属性が、対応するデフォルトで与えられなければならない。C G P の最初のリリースに含まれるすべてのプリミティブによってサポートされるであろうと考えられるものの属性は、周囲の色 (ambient color)、拡散色 (diffuse color)、正反射色 (specular color)、光る色 (emissive color)、輝き (shininess)、透明さ (transparency)、ショーの名 (show name)、およびショーの注釈 (show annotation) である。さらに、いくつかのプリミティブが「ショーの寸法 (“show dimension”)」属性をサポートすることになる。レンジスキャンは、「強度擬似着色属性を使用 (“use intensity pseudocoloring attribute”)」ツールをサポートすることになる。

「命名したビジュアル表示の生成／ロード／保存／削除」

ユーザーは、当該データベースを使った他のパラメーターの組以外の別のパラメーターを使ったデータベースを自分で観るため、命名した新たなビジュアル表示を生成することができる。このビジュアル表示は、名前を与えられてデータベースに格納される。ユーザーが新しいビジュアル表示を生成するとき、データワールド内の各オブジェクトに対する現在の属性値がすべて、上記の命名したビジュアル表示に関連づけられる。この名前を付けられたビジュアル表示を使ったときの、ユーザーによってなされたデータワールドへの変更（オブジェクトの表示属性のワイヤフレームへの変更、あるいはその色の青への変更など）は、現在ロードされているビジュアル表示の属性／値の対だけに影響を与える。したがって、配管技術者なら、一つのセッションではすべての管が円筒として表示されるデータワールドのビジュアル表示を発生させ、別のセッションでは管は中心線として表示される第二のビジュアル表示を発生させるかも知れない。もちろんこれは管オブジェクトが、命名された表示属性を中心線に与えることを前提にしている。

このパラダイムは、各ビューアーごとに別個のデータベースのコピーを用意することなくいろいろのユーザーが同じデータベース上で多数のビューを同時に観ることを可能にすることに注意されたい。

「生成／削除／ビュー／編集／注釈」

注釈とは、オブジェクト、プリミティブ、パーツ、またはプロトタイプと関連づけられる印字データフィールド (typed data field) である。注釈は、アプリケーションに特化したデータをCGPデータベースに含めることを可能にする。このデータは、いずれのデータ型のISO標準でもよい（これらが何であるか、思い出さないでよいが、約半ダースほどあり、各データベースによりサポートされている。）各注釈は、名前で参照される。

プロトタイプに関連づけられた注釈はそのプロトタイプで生成された各パーツに適用される。ただしパーツによってその注釈の値が明示的にオーバーライドされるときは別である。

各エンティティは最少限、名前およびタイプに関する注釈を有する。クエリーによる選択ユーザーは、データワールド内のすべてのエンティティの注釈に関する

SQLクエリーを使って一組のエンティティを選択することができる。そのようなクエリーは、直接にデータベースに手渡される。SQLサポートの程度は選択したデータベースに基づいて決まる。

クエリーによって返されるエンティティは、選択されたものとしてマーク付けられ、多重オペレーションに作用することを可能にするすべてのツールに対する引数として使用することができる。ユーザーにとってはCGPによりデータベース内に格納されているデータもまた、当該CGPデータベース構造に対する読取り専用フロントエンドを介してアクセス可能である。

「データ交換」

「データ交換」ツールキットは、CGPを他のCADパッケージおよびベンダー提供のカタログとシームレス統合を行うのに必要な機能を提供する。このツールキットは究極的には、市場の需要に対応する多様な型式のファイルをインポートし、エクスポートすることになる。

インポート／エクスポートCRX

エクスポート機能は、選択したオブジェクト、データワールド、あるいはCRX（Cyrus社が所有するデータフォーマット）のデータベースを表す単一のバイナリーデータファイルを生成する。インポート機能はこのデータフォーマットの読み取りを可能にする。

インポート／エクスポートDXF

このエクスポート機能は、選択したビデオイメージオブジェクト、データワールド、あるいはこの汎用CAD標準フォーマットのデータベースを表すDXFデータファイルを生成する。DXF表示は次のように限定される：インポートDXFファイルは、DXFファイル内に格納されているエンティティまたはエンティティの組をCGP中にロードする。このDXFファイルのCGP版は以下のように制限される。

インポート／エクスポートRGB

「エクスポートRGB」機能は、選択したビデオのイメージからRGBビデオイメージファイルを生成する。「インポートRGB」機能はRGBビデオイメージファイルからビデオイメージオブジェクトをCGP内に生成する。

インポート／エクスポートインベンター

「エクスポートインベンター(Export Inventor)」機能は、選択したオブジェクト、データワールド、またはデータベースを表すインベンターファイルを、インベンターファイルフォーマットで生成する。その結果得られるモデルは、標準のインベンタービューアーを使って観るとCGPで観るモデルと同じである。インポート機能は、インベンターファイルに格納してあるエンティティまたはエンティティの組をCGP中にロードする。このインベンターファイルのCGP版は次のように制限されよう。

「エクスポートポストスクリプト」

「エクスポートポストスクリプト」機能は、選択したデータワールド内に表されたビューであるポストスクリプトファイルを生成しまたはプリンターへ直接に送って印刷する。

一般的な対話およびシステム情報

ツールキットとの対話は、視覚的対話を重視する観点からマウスとキーボードを介して行われる。ユーザーインタフェースは、アイコンを使ったツールパレット、ファンクションキーショートカット、メニュー、およびウィンドウをもつことが望まれる。機能の大部分はマウスだけを使ってアクセス可能となろう。本システムのユーザーインタフェースは、与えられたプラットフォームにおける標準のインタフェースおよび対話パラダイムに適合するであろう。

プラットフォーム

CGPは、ラップトップボックスに装備したWindowsNTを走らせる100MHz

ペンティアムプロセッサ上で動作するだろう。本システムは、512キロバイトのキャッシュを備えた最小限48メガバイトRAMを提供する。プラットフォームは800×600ドット、256色のディスプレイおよび少なくとも1GBのデ

ィクスペースをもつことが望ましい。システムは、P C I M C 1 A方式のイーサネットを介してハードウェアと通信する。C G Pの第一ポートは、グラフィックス集中環境で使うように意図されたオフィスモデルを与えるため、シリコングラフィックスプラットフォームに適するものであることが望まれる。

ヘルプシステム

C G Pは、与えられたプラットフォーム上のアプリケーションに供する標準インタフェースに対応するフォーマットの形で、文脈判断可能なヘルプを提供する対話的ヘルプシステムを提供する。ユーザーがアクセスできるすべての機能はヘルプシステム内に文書化される。

「アンドゥ」

C G Pは、一つのセッション期間中に行われた任意の数のオペレーションを、（メモリおよびディスク・スペースのようなシステムの機能の限界まで）何度でもユーザーがアンドゥできるようにする。

ドキュメンテーション

少なくとも使用現場において調査者が使うことができるフィールドガイドを含む形で、本システムの文書資料のハードウェアコピーを提供する。

Cyra Technologies, Inc.

> 1st Line of Products: Integrated 3D Mapping &

Imaging 製品の第1ライン: 統合された3Dマッピング及びイメージ化

- > Portable & Field Operated 携帯性及び現場操作
- > High Accuracy & Resolution (1mm & 6mm Models) 高精度及び高解像度 (1mm Accuracy Model)
- > Large Object Capability (50m Range at Above Accuracy & Resolution) 大物体対応の性能 (上記精度及び解像度において、50メートル範囲)
- > Priced for Mass Production 大量生産に値する。

> Major Markets

主要市場

- > AEC Industry AEC産業
- > Manufacturing & Mechanical Design 生産及び機械設計
- > Entertainment & Virtual Reality 娯楽及びバーチャルリアリティ

CONFIDENTIAL

CYRA

Cyra Technologies, Inc.

- New Generation of Products Under Consideration
 - Field Positioning System 現場配置型
 - Airborne Mapping & Surveying 空中マッピング及び測量
 - Motion Capture モーションキャプチャー
 - Underwater Mapping & Imaging 水底下のマッピング及びイメージ化
 - Personal 3D Camera パーソナル 3D カメラ
 - Laser & Detector Arrays レーザ及び検出器アレイ

CONFIDENTIAL
CYRA

Cyrax Performance Specifications

Cyrax 性能明細

- 1mm & 6mm at 50 meters 50メートルで1mm及び6mm
- Non Cooperative Targets (down to 5% Reflectivity) 非連携ターゲット (5%反射ターゲット)
- 1000 to 5000 Points per Second 1秒間に1000から5000ポイント
- Portable & Field Operated 携帯及び現場操作
- Base System Under \$30,000 on Stabilized Basis 安定した基盤に於いて、3000ドル以下の基本装置
- Eye Safe (Class II A) 目に有害な安全性能 (クラス II A)
- MTBF 10,000 Hours MTBF 10,000時間

CONFIDENTIAL

CYRA

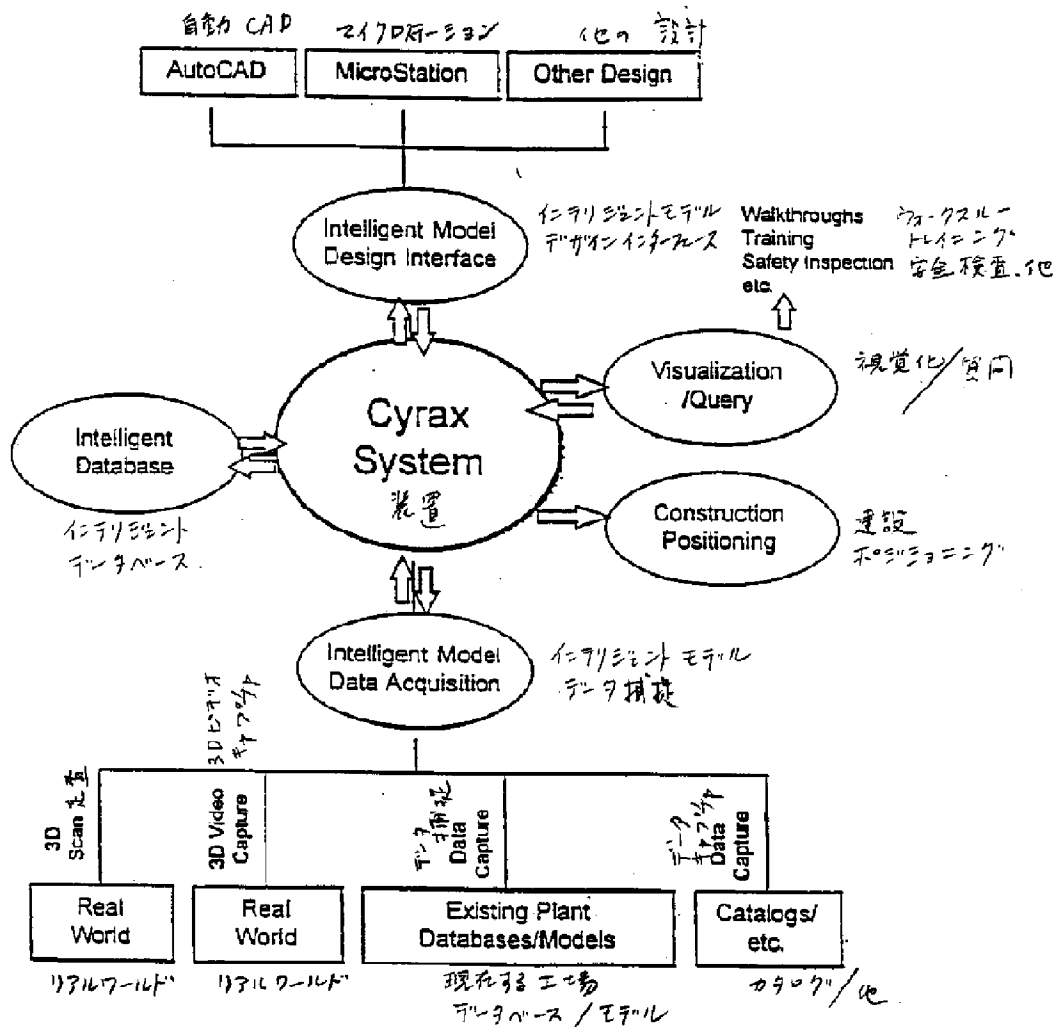
Cyrax Software: Production Software

- Designed to Significantly Reduce Model Delivery Time/Effort
モデルの分岐時間/努力を大幅に削減する事に設計されています。
- “Real Time Modeling”: Allows Modeling in the Field 現場でのモデリングが可能
現場でのモデリング
- Object Oriented Architecture Allowing Intelligent Models
インテリジェントモデルの作成可能なオブジェクト指向アーキテクチャ
- Designed to work with “Catalog” Objects/Components
「カタログ」オブジェクト/コンポーネントで構築可能なモデル
- Communicates Seamlessly with Major Design Packages
主要のデザインパッケージと、継ぎ目なくコミュニケーションする
- Multi Platform: Unix/Windows NT
マルチプラットフォーム: ユニックス/ウィンドウズ NT
- Allows Remote Scanning 遠隔検査可能

CONFIDENTIAL
CYRAX

Cyrax Intelligent Modeling System

インテリジェント モデル化 装置



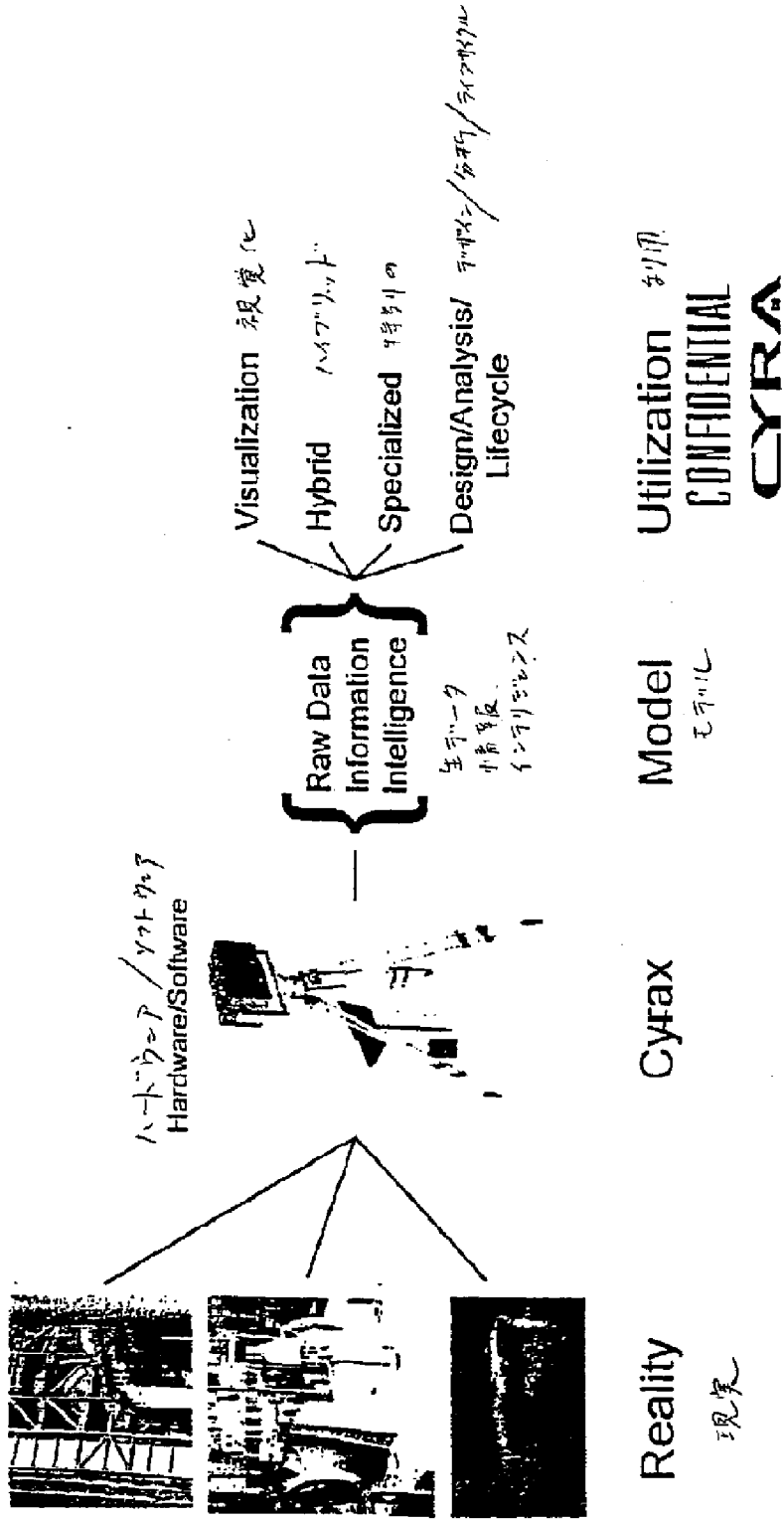
CYRA

CONFIDENTIAL

Cyrax:

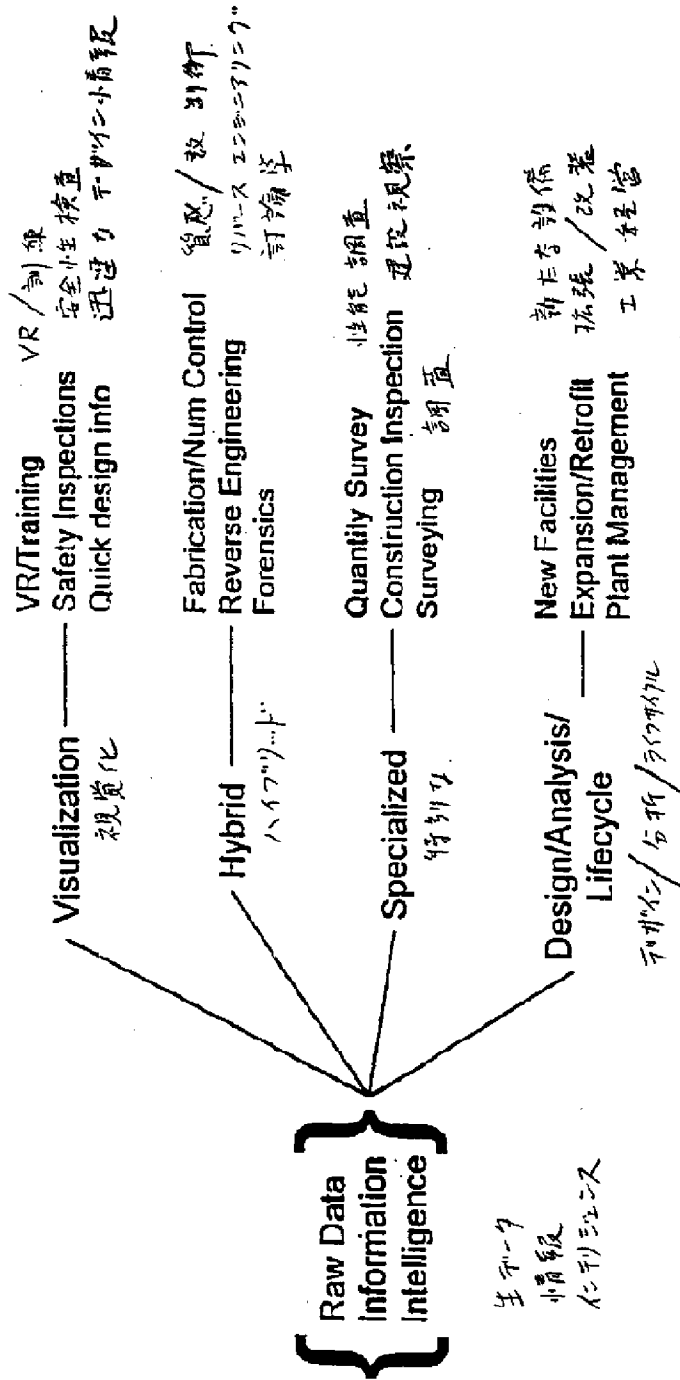
Utilization

利用例



Cyrax: Utilization

利用



CONFIDENTIAL

CYRA

C y r a

C y r aテクノロジー社、およびレーザー方式でデータを取得し認識しモデル構築するユニークなC y r aテクノロジー社の技術に関するこの概要秘密文書は、C y r a社の潜在能力を一層よく理解し評価する戦略上のパートナー、投資者、および、協力者を援助するために用意したものである。

C y r aテクノロジー社は1993年に設立されたカリフォルニアの会社で、建築／工学／建設の分野 (Architecture／Engineering／Construction、AEC) および製造業者のための革新的な高度技術によるコンピューターベースの製品を研究、開発、販売している。

C y r a社は現在、レーザーを利用する一連の空間撮像 (spatial imaging) および合成景観システム (synthetic vision systems) を開発しており、これらは広範囲な市場で需要がある三次元データの取得、認識およびモデル構築を行うためのものである。最初の製品である「C y r a x」は、視野に入る任意のものの三次元 (3D) コンピューターモデルを自動的に生成することができるグラフィックコンピューターを併せ備えた携帯用レーザーレーダースキャナーである。これは、ハイブリッド型のカメラ／サーベイ用器具として、丘の景色からビルディング、はては航空機にいたる任意のものの3D CAD (Computer Aided Design) モデルを生成することができる。50メートル以上のレンジにおいてミリメートル単位の精度をもつ技術を備えたC y r a xは、製造業、娯楽産業、マルチメディア分野で大きなマーケットをもつ3D空間データの需要に対してと同様に、建築／工学／建設の産業分野の需要に応えようとするものである。

空間情報のニーズ

データの取得

我々の環境に関する正確な情報は近代生活にとって極めて重要である。恐竜キャラクターを製作するビデオゲームデザイナーから帯状鉤脈の地図を作成する地質学者、超高層ビルの「完成時の模様」を準備している建設会社、あるいは複雑な機体のパーツの正確な三次元測定を必要とする航空機設計者に至るまで、近代生

活は我々を取り囲む空間的環境に関する正確なデータに対し変わらぬ需要がある

。

全世界の建設、利用設備、輸送、および製造業は毎年10億ドルを超える投資をしているが、業務の大部分を高速かつ精確な空間データに依存している。これらの産業は少なくともその収入の1パーセントの10分の1をデータ取得に費やしている。

その需要は毎年10億ドルを超える！ トータルステーション（近代的測量士のツール、すなわち望遠鏡／角度メーター／距離計を統合した装置）による調査業務の国内売り上げだけでも毎年52億ドルを超える。

データベースの配置

我々の周囲にあるオブジェクトの位置を知る必要性に加えて、オブジェクトを正確に配置または設置することには膨大な需要がある。フェンスを立てるとき、建築の土台を注入するとき、通路を建設するとき、あるいは複雑な機械を組み立てるとき、建造物の制作者はパーツを正確に位置決めする必要がある。「質（を守ること）が最初の仕事である」という国民的スローガンがあり、また会社の利益差分が厳しい現状にあって、手計算の方法はもはや採用することができない。

。

ベンダー達は現在あまり目を向けていないが、データベースに基づく位置決めの市場は急速に成長している。我々の社会は消費商品を益々柔軟にカスタム化する方向に向かっているのであるから、データベースに基づく位置決めシステムの需要は爆発的に増すであろう。

従来の方法

データ取得——ポイントおよびライン

従来、社会ではデータを取得するのに面倒な手法に頼っていた。AECの分野では測量士がデータを集めるのに、現場で光学的トランシット、水準器、スチールテープ、および錘線を使うのに長時間を費やした。他方、製造用機械技術者および設計技術者はキャリパーや精密器具を使うことが情報収集の主な方法であった。

これらの道具と方法は高い精度にまで精密化され、近年では部分的に自動化さ

れてさえいる。しかしながら、こうした方法は遅速で骨が折れ、かつエラーを含みがちな二次元データ収集手段に依存している。現場であるいは作業台上で測定したポイントやラインから得たデータが設計表またはCADシステムに戻されて、長時間をかけてまとめられ、パーツの等高線マップサイトの線描きあるいは三次元モデルが構築されている。消費する時間に加えて、現行のデータ処方法は人的エラーを受ける。

位置決め

正確な位置決めはいつでも一つの挑戦に値する達成目標であった。これまで大抵の民間業務および建設業務はトータルステーション（望遠鏡／角度メーター／距離計を統合した近代的測量士のツール）を使って測量士のチームが一ポイントづつ逐一「杭打ち」するものである。このような方法にもいくらかの進歩がある（例えば、新しいトータルステーションは可視光線で人を正確にポイントへ案内することができる）。しかしこのプロセスは依然として遅く、骨が折れ、オペレーターがエラーを起し易い。

同様に製造業では製品が益々複雑になり、製造条件が今まで以上に要求されるようになっており、パーツの正確な位置決めが常に、かついつそう挑戦に値する達成目標となっている。

多数のベンチャー企業家たちが機械的視察デバイス（machine vision devices）を開発しようと試みているが、そのようなシステムは大抵、根本的な制約を受けており、また単一の用途に向けて設計されている。組立ライン上でしばしばロボットがオブジェクトを位置決めするようにプログラムを組むことができる。ただし、それはオブジェクトがロボットの手の届く範囲内にある場合に限られる。しかしながら、航空機や船体のような大きな組立体では制作者は扱い難い機械的3次元アーム（通常はスキャニングに使用される）、あるいはドリル孔の事前マークや手作業の詰め合わせおよび組立前の整合を助ける調査装置などの、最適とは言えない解決法に頼らざるを得ないのが現状である。

「空間的」便宜

自動的データ取得

オートデスクコーポレーション (Autodesk Corporation) その他の企業の市場における驚異的な成功に見られるように、この十年間のC A Dの爆発的流行から、機械に直ちに利用できる形態の正確な3 Dデータに対する需要が高まっている。ほとんどすべての技術者およびデザイナーがT型定規と鉛筆でポイントとラインを描く製図板からコンピューターの光輝く蛍光画面に映ってしまった今、空間的データに対する需要が急増した。ソフトウェアを使ってラインに組立て、やがては3次元表示に組み立てる数百個のポイントを手作業で調査もしくは測定する現在のプロセスは、技術者およびデザイナーがC A Dプログラムで使用しているが、非効率かつ経済的負担となる。

現場にある3次元オブジェクトをすべて収集するシステムは精度を改善することができるとともに、現在はコストまたは技術的な制約のために収集できないデータを提供することができ、さらに、現在のデータ取得プロセスにおけるいくつかのステップを排除することができる。

データ取得の便宜さを得るという主要目的に加えて、データ取得には今後成長する多数の可能性がある。市場調査インタビューのなかで言及された多くの事項のうちのいくつかの興味ある話題として、遠隔3次元偵察／視察、機械の視察／認識、(航空写真測量に代わる)航空データ収集、および水中視察 (underwater vision) がある。

自動位置決め

将来は、ボーイング社などの工場で導入されている3 D設計と共に、完全な3次元設計が浸透するにつれ、建物から自動車部品に至るオブジェクトをデザイナーのコンピューター画面から直接正確に位置決めする能力が標準になるであろう。C y r a社は、かかる空間的位置決め問題に向けた、比較的簡単かつ低コストのデータ取得技術への拡張を目指して研究している。

A. 序論

A E C産業分野で正確な空間情報に対する需要およびそれを与えるツールの不在に刺激されて、C y r aテクノロジー社はC y r a xという携帯可能な三次元データ取得ツールを開発している。多くの点でカメラと類似している現在開発中

の装置は、カメラの前面に広がる視界を構成する「ポイント」ワールドに対して三次元座標を捕捉する能力を与える。C y r a x はカメラのスピードと大きなデータ取得性を正確な3次元空間データの捕捉機能に結合する。C y r a x の設計仕様は、50メートルまでの距離でミリメートル単位（モデルの一つは1ミリメートルまで、別のモデルでは6ミリメートルまでの精度）の現場測定ができる高精度高速デジタル装置を目標としている。C y r a x のソフトウェアは、小さい携帯用コンピュータで走るものであり、ハードウェアと結合して高度のポイント処理およびハードウェアとの相性の良いインターフェースを与える。

C y r a x -アーチストの概念

A E C 分野の専門家達が有益なデバイスを得られるデバイスに必要な設計条件から出発して、実現の可能性がある技術の評価が行われた。C y r a x の予備的仕様は既存のいかなるデータ取得方法の限界をも越えているが、C y r a 社はレーザー技術、特にレーザーレーダーに、照準を当てて努力している。大学、政府の研究所、並びにC y r a 社チームによる集中的な研究により、上記設計仕様を満たすに必要な根幹技術のコンポーネントの生成および組み立てが行われている。

C y r a x

C y r a x ソフトウェアは、レーザーレーダーおよびピコ秒レベルの超高速電子工学を使って白昼下に毎秒数千個の三次元座標を捕捉するように設計された。

C y r a x ソフトウェアはハードウェアと同様に高度である。その革新的でユーザー・フレンドリーなコードにより、オペレーターはスキャンプロセスに向かうことができ、その結果生じたポイント群から意味のあるデータを生成することができる。ソフトウェアチームは現在、オブジェクトの自動認識および自動生成に残る限界を無くす方向に努力しており、高速かつ容易な表面生成ツールおよびオブジェクト生成ツールと同様、これまでに半自動化した3Dオブジェクト分割ルーチンを開発した。

B. レーザーレーダー

発見から30年も経っているにもかかわらず、「ライダー('lidar')」すなわち

レーザーレーダーは防衛産業外では限定的な用途しかなかった。しかしより簡単で低コストのマイクロチップレーダーが開発されたこともあり、また政府防衛研究を産業へ解放する政策が執られるにいたったこともあって、近年は状況が変わった。1986年の第一回レーザーレーダー年次会議でライダー技術は真実、それ自体の地歩を得た。

従来のレーダーと同様に、ライダーは光パルスの戻り時間の正確な測定、あるいは光パルスの位相シフトの正確な測定に基づいている。レーザーから出たコヒーレント光ビームを非常に鋭く収束させ、かつこれを「照準可能な」ビームにして使用することにより、ターゲッティングに顕著な利点を得られる。しかしながら最近になるまで、レーザーレーダーは技術的に制約があった。第一に、ターゲット上に反射器を配置せずに測定できるほど十分に鋭い高エネルギーパルスを安全に提供できるレーザーがほとんどなかった。第二に、「光速」測定システムに必要なピコ秒単位で応答できる電子機器がないため、収束された高出力レーザー放射ビームのタイムオブフライト (time of flight) などを測定する高速かつ高精度の電子工学装置の精度が欠如していた。その結果、レーザー式のレンジ決定用トータルステーションのようなシステムはタイミング電子装置のエラーを平均するため、数百回、ときには数千回もの測定を行わなければならなかった。

先進的国立研究所において近年開発された極めて鋭い高エネルギーパルスを出すことができるマイクロチップによって、レーザーレーダーシステムが得られる可能性が新たに開かれた。C y r aテクノロジー社は迅速に対応し、C y r a社のマーケットに対しこの特許レーザーの世界的独占権を取得した。

C. C y r a x システム

C y r a x は、次の3つの主要なコンポーネントからなる。

- ・電子レーザースキャナー、すなわち

「フィールドデジタルビジョン」マシン。

- ・F D V 制御、ターゲティング兼イメージ「組立」ソフトウェア、すなわち

「コンピュータグラフィック認識 (Computer Graphic Perception)」

モジュール。

・既存のサードパーティーCADに対する通信ソフト。

開発戦略

[310]

C y r a x は、C y r a 社の副社長ジェリー・ディムデイル博士の指揮の下で国際的エキスパートチームによって開発されている。マサチューセッツ工科大学リンカーン研究所はC y r a 社が供給する資金により、FDVの一部であるライダートランシーバ（送信器および受信器）を開発した。スキャンシステムおよび電子装置を含むFDVの残りの装置はC y r a 社およびいくつかのコンサルタントとベンダーによって開発された。開発されたコンピューターグラフィックソフトウェアは、カルフォルニア大学バークレー校の研究者達の援助を受けてC y r a 社で行われている。開発を進めるにあたり、すべての段階でC y r a 社のマーケティングチームと、本技術の進化を導く上で協力しかつ援助をするよう内密に説明を受けて開発期間中に参加した重要な産業界の代表者達とが密接な協力を保っている。

FDV

携帯可能な「フィールドデジタルビジョン(Field Digital Vision、FDV)」システムは、次の3つの主要な要素を持っている：

ライダートランシーバ

レーザー

検出器

光学装置

タイミング電子装置

電気機械のスキャナー

ドライブモーター

照準鏡

エンコーダ

制御電子装置

内部コンピュータおよび電子装置

埋込みデジタル信号プロセッサ
補助的電子装置および電源管理装置
バッテリー電力供給源

C G P は、システムの「頭脳」である。これは現在の技術に立脚したグラフィックソフトウェアからなる複雑な構成をもつものであって、レーザースキャナそれ自体がそうであるように、多くの技術的限界を取り除くものである。それが提供する直観的なグラフィックインタフェースにより、ユーザーはエリアおよびその前方にあるワールドの「ビデオ」ビュー上でスキャンすべきものの詳細に照準を合わせることができる。F D V がシーンのうちの選択した部分をスキャンするに伴い、C G P がポイントをし、深度に応じた陰影を付けた第二の三次元ビューの形で表示する。

本C G P の有力さを明瞭に示しているのは、ポイントを表示するこの第二のウィンドウである。オブジェクトを構築するためのアルゴリズムにより、ユーザーは数回のマウスクリックにより「ポイント群(clound of points)」をC A D で読み取り可能な平面、円筒、表面に変えることができる。正確さが必要であることがわかっているので、ソフトウェアはプロセスの全期間中、スキャンしたすべてのデータポイントを保持する(したがって、後に加えられるかもしれない任意の追加データを、最適フィットアルゴリズムが利用できる)。従来のサーベイおよびスキャニング装置とは異なって、このデータの組立ては極めて迅速に、かつ現場で行うことができる。これは、明らかな利点である：データは現場で容易に点検することができ、明白な誤りを除去することができる。(従来はそれをしようにも余りにも頻繁でできなかった。)モデルを組み立てるとさらに詳細なデータが必要であるエリアが明白となるので、そのときは容易に更なるデータを追加することができる。

ただ一つの位置から全体のオブジェクトを捕捉することができない状況に備えて、C y r a 社は複数のスキャンの組を一つの大きな単体にまとめる「Z I P」

ソフトウェアを設計した。

このC G P はオープンアーキテクチャーを基礎としており、最も将来性が高く

かつ将来の修正が容易なように書かれている。

開発は、オブジェクト指向の米国規格協会C++言語と業界標準のOpenGLその他のグラフィック環境を併せて使用し、「シリコングラフィックス」社ワークステーション上で行った。Cyraは携帯可能な現場操作用のシステムなので、Cyra社はCGPを一般的な軽量のインテルベースのラップトップ上で実行できるようにした。Cyra社は、マイクロソフトWindows NTの下で、CGPがインテル486ラップトップ上で首尾よく走ることを実証した。

現在、本システムにいくつかのコンピューターハードウェアオプションを提供する計画がある。(予備的価格計画については付録Lを参照されたい。)これらの計画は、ハイブリッド型のペン入力式IBMペンティアムThinkPadから、多数のグラフィックアクセラレーターボード(OKIアメリカトライアングル社のWindows NT用OpenGLアクセラレーターなど)の一つを装着する拡張スロット付きの、ペンティアムまたはパワーPCを使用する従来通りのラップトップにおよんでいる。究極の機能が必要であって固定電源へのアクセスを有するユーザーにはSGIワークステーションを提供することができる。

CADリンク

‘すでにある車輪を再度工夫する’代わりに、従来のモデリング、編集その他のデータ操作の需要に対しては、Cyraは既存のCADソフトウェアに融合する。購買者が自己所有のCADシステムを使用し続けることができるようにすることにより(ほとんどのCyraユーザーはすでに何らかのCADパッケージを所有しているであろうから)、ソフトウェアのコストおよびサポートコストが抑制され、ソフトウェア間の互換性が保証される。業界標準の3D DXFファイルフォーマットのサポートを通して、CGPはほとんど現存するすべてのCADプログラムとリンクすることができる。他の3Dデータフォーマットへのサポートは、その特徴を強化して提供することが有益である特殊な産業分野(たとえば自動車業界など)のために追加することを考慮している。特定のパッケージ

と一層密接な統合を望む人々には、CGPのオープンアーキテクチャーによって

、プログラム可能なCADシステムと結合することは比較的容易である。——インテグラフィ社 (Intergraph) のソフトウェアRoadWorks内でCGPを実行するデモンストレーションが1994年の夏に行なわれた。

D. 競争会社の技術の概観

目標となる3つのマーケット分野間に違いがあるにもかかわらず、土台をなす技術は広範囲に共通している。3Dデータ取得技術には二つの基本的なカテゴリがある。それらは接触方式（プローブやテープなどを使うもの）と非接触方式（レーザーや写真測量法など）である。接触方式のシステムでは、大きさを測定すべきポイントに可動測定デバイス（通常、針先の付いた杖、あるいは杭に反射鏡を付けたもの）を観測点にもってゆく。他方、非接触方式のシステムでは、物理的に離隔されたオブジェクト上のポイントの空間的位置を（しばしば光の反射を使って）遠隔的に測定する。

D. Overview of Competitors' Technologies

Despite the differences between the 3 target market segments, the underlying technologies are broadly shared. There are two basic categories of 3D acquisition technology—*contact* (such as probe or tape, etc.) and *non-contact* (such as a laser and photogrammetry). Contact systems involve bringing a movable measuring device (typically a needle-pointed wand or a mirrored reflector on a stake) to the point to be dimensioned. Non-contact systems, on the other hand, *remotely* measure (often with light reflection) the spatial locations of points on an object physically separated from them.

| Technology | Markers | | | + Key Advantages |
|--|------------|---|---|---|
| Example | AEC Mfg 3D | | | - Key Disadvantages |
| Contact Technologies 接触技術 | | | | |
| physical measurers 物理的測定 (e.g. tape measure, calipers) | ✓ | ✓ | ✓ | + cheap, simple, reliable - very slow, labor intensive, limited |
| mechanical contact arms 機械的接触 (e.g. Faro SpaceArm) 2-6 | | ✓ | ✓ | + relatively inexpensive, simple to build - slow, cumbersome, limited range |
| sonic wands/transmitters ソニックワンド (e.g. S&C digitizer) 超音波 | | ✓ | ✓ | + lightweight, relatively simple - slow, low accuracy, limited range |
| electro-magnetic wands/transmitters (e.g. Polhemus tracker) 電磁 | | ✓ | ✓ | + lightweight, multiple points at once - slow, problems w/ metal, limited range |
| optical emitter wand 光線ワンド (e.g. Pireva digitizer) | | ✓ | ✓ | + lightweight, relatively simple - slow, line of sight issues, limited range |
| GPS (satellite triangulation) (e.g. Trimble GPS receiver) | ✓ | | ✓ | + accurate anywhere, rapidly improving - low accuracy, subject to government jamming |
| laser with target reflector (e.g. typical total station) | ✓ | ✓ | ✓ | + well developed & accepted - slow/labor intensive (point at a time) |
| laser interferometry with prism (e.g. SMX Chesapeake) | ✓ | ✓ | | + extremely accurate even at great distance - slow/labor intensive (point at a time) |
| Non-Contact Technologies 非接触技術 | | | | |
| stereo matching (photogrammetry) (e.g. Rollei system) | ✓ | ✓ | | + well developed & accepted - very slow/labor-intensive, expensive cameras |
| triangulation—by point 点1対2 (e.g. Dietrich scanner) | | ✓ | ✓ | + relatively simple to design - very slow, limited range, surface dependent |
| triangulation—by line (stripping) 線1対2 (e.g. VENSIS or Cyberware scanner) | | ✓ | ✓ | + relatively fast - slow, limited range, surface dependent |
| triangulation—by area 領域1対2 (e.g. ARW Dr. Wolf system) | | ✓ | ✓ | + fastest of triangulation systems - limited range, surface dependent, data overload |
| fringe-based (moiré interferometry) (e.g. EOTS mini-moiré system) | | ✓ | ✓ | + simple hardware, accurate at close range - limited range, surface discontinuity problems |
| time-of-flight rangefinding—sonic (e.g. electronic tape measures) | ✓ | | | + very cheap and easy to manufacture - very limited range & accuracy |
| time-of-flight rangefinding—lidar (e.g. IREO lidar/scanner stations) | ✓ | ✓ | ✓ | + frees measurement head from target - expensive, limited range/accuracy (until now!) |

Each technology has advantages and disadvantages. Probes tend to be more accurate, but are typically slow and cumbersome (since they gather data point by point). Non-contact methods tend to be faster (as they eliminate the need for traveling to or coming into contact with each point to be

それぞれの技術は利点と不利点とをもっている。プローブは他のものよりも正

確であるが、通常、遅くて煩わしい（というのは、プローブはデータを逐一ポイント毎に集めるからである。）非接触方式は、他のものより速い。（これらの方法は測定すべき各ポイントまで移動する必要も接触する必要もないからである。）

上記の表に示すように、（そして使用されるシステムの多様さが示すように）C y r a社の画期的解決法が現れる前は、どれも他の技術を凌駕するほどの性能をもっていなかった。

徹底的な世界的規模の調査によって、機械的アームからGPS受信器およびレーザースキャナに至るまで様々な形態の3Dデータ取得システムを販売するベンダーが70社以上見つかった。「トータルステーション」技術および「GPSトータルステーション」技術を除いて、これらの大多数は高価な限定的機能のシステムを少量販売する小規模かつ資金力の乏しい企業である。ベンダーおよびその製品の写真付き解説とともに企業の競争状況が付録Bに掲載してある。

データ収集システムに関する多くの競争相手のうち、ただ2社（メンシ社（M E N S I）およびエス・エム・エックス社（S M X））のみが大きな距離（50ないし100メートル）での3Dデータを収集できる能力をもっている。これらのレーザーベースシステムはC y r aに類似するように見えるが、これらには各々重大な制約がある。S M X社のチェサピーク（Chesapeake）レーザー干渉計システムは、価格が10万ドル以上であり、測定すべき各ポイントにプローブを配置する必要がある。その利点は、高い精度にある。メンシ社のソイシック（Soisic）レーザーは三角測量を使うが、1秒あたり100ポイントの収集に限られ、極端に携帯性に欠ける（大きくて重く、かつAC電源を必要とする）。また価格がほぼ26万ドルである。どちらのシステムも、C y r a xのソフトウェアの高度さを備えているとは思われない。

【図1】

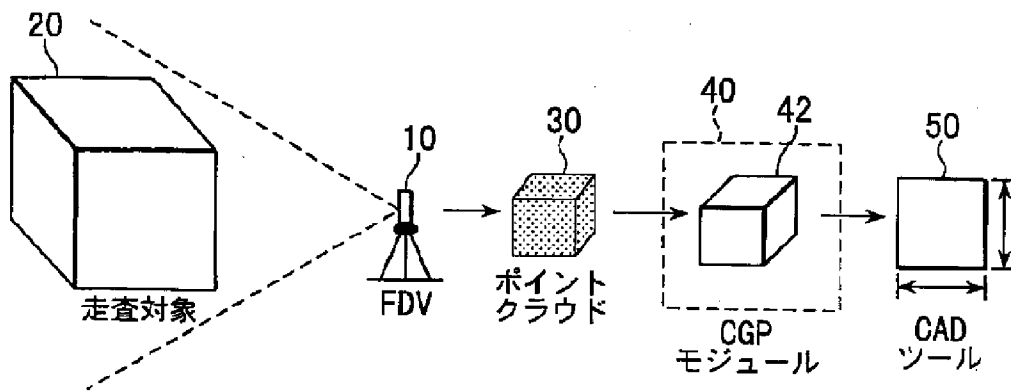


Figure 1

【図2】

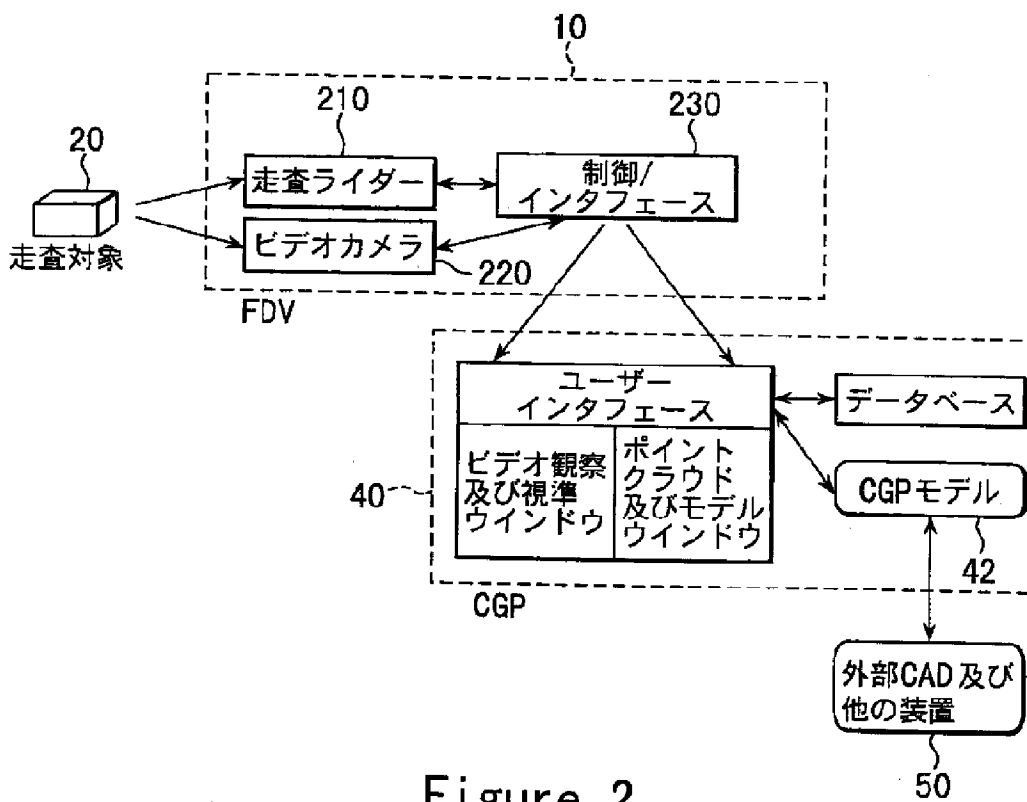


Figure 2

【図1】

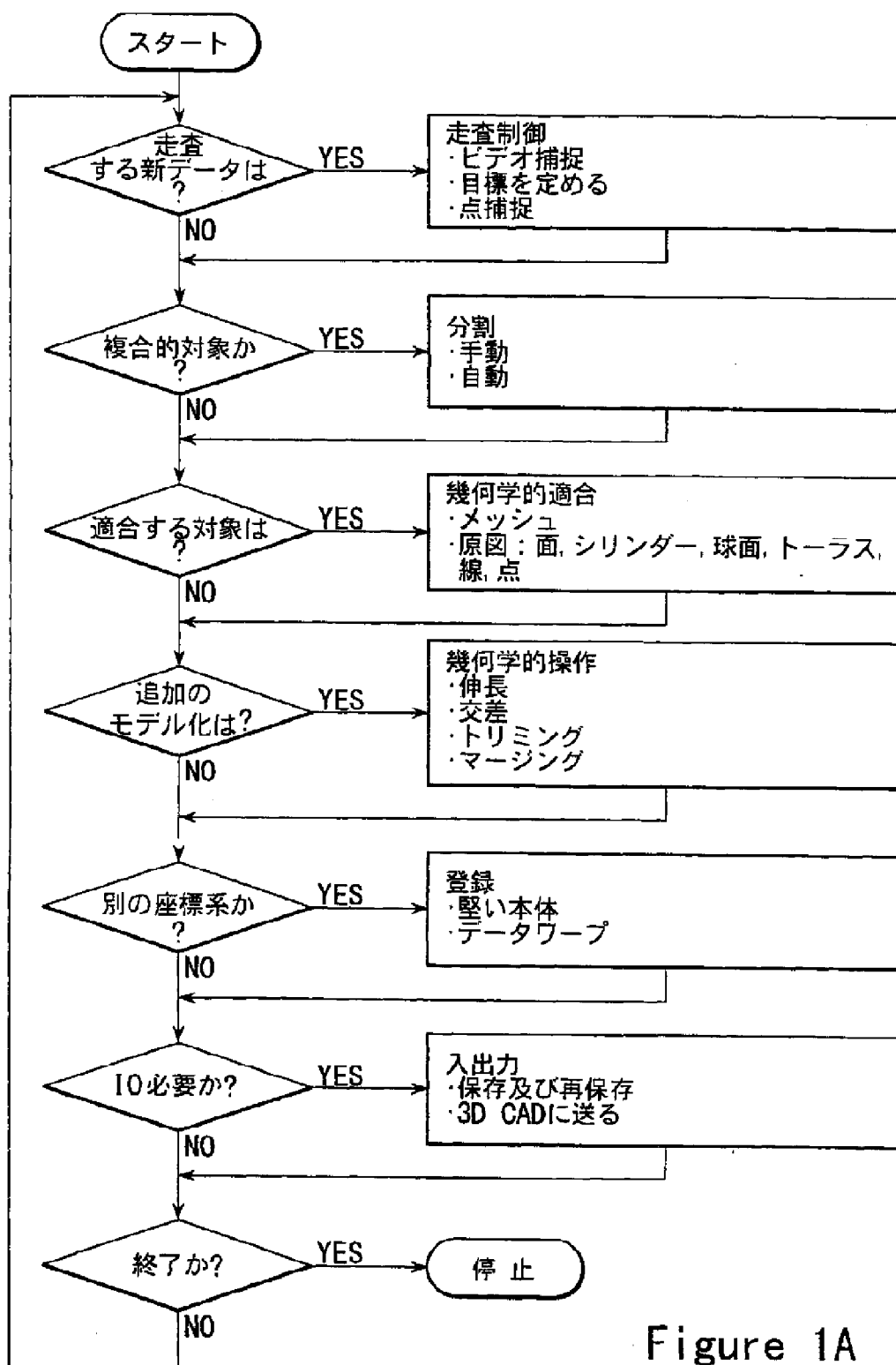


Figure 1A

【図3】

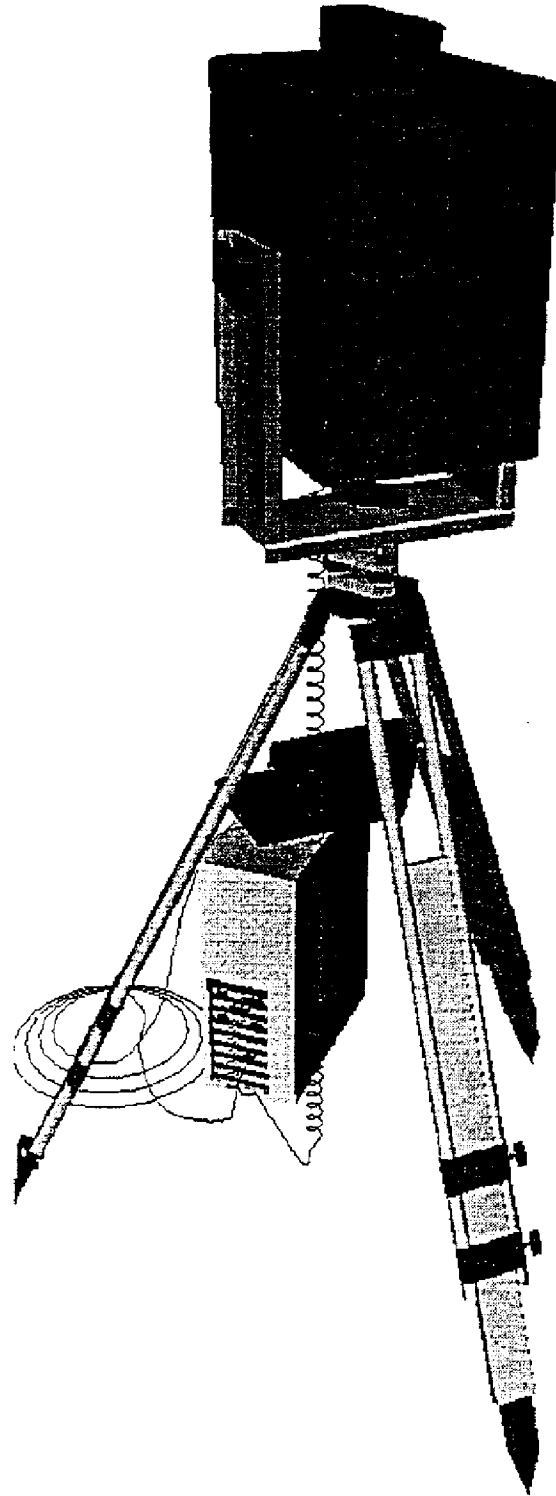


Figure 3A

【図3】

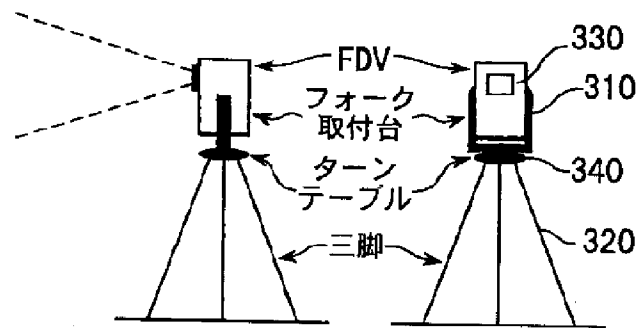


Figure 3

【図4】

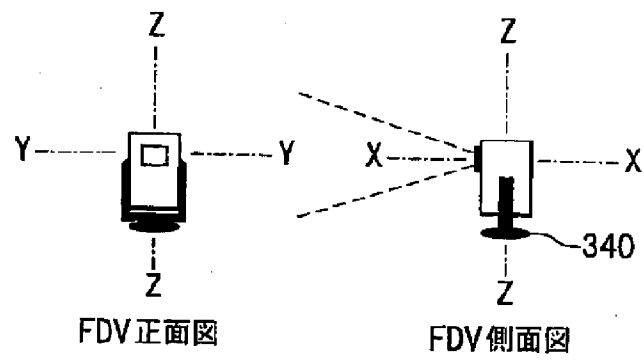


Figure 4

【図5】

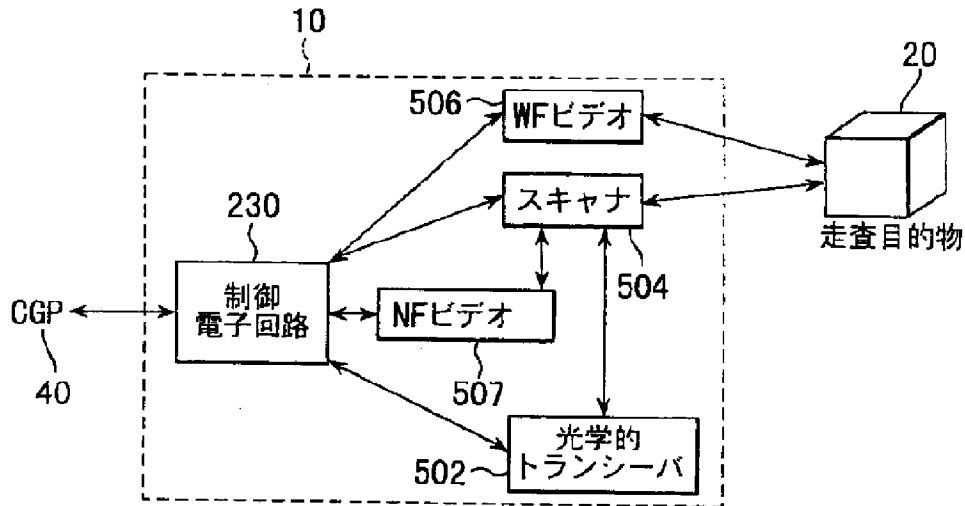


Figure 5

【図6】

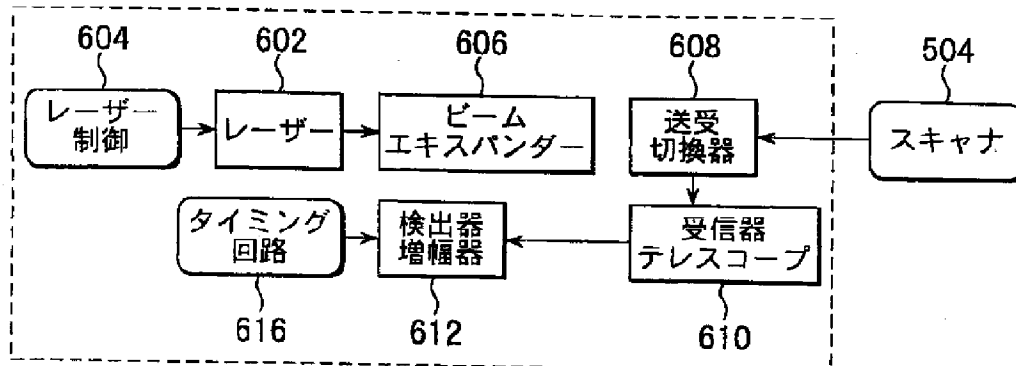


Figure 6

【図7】

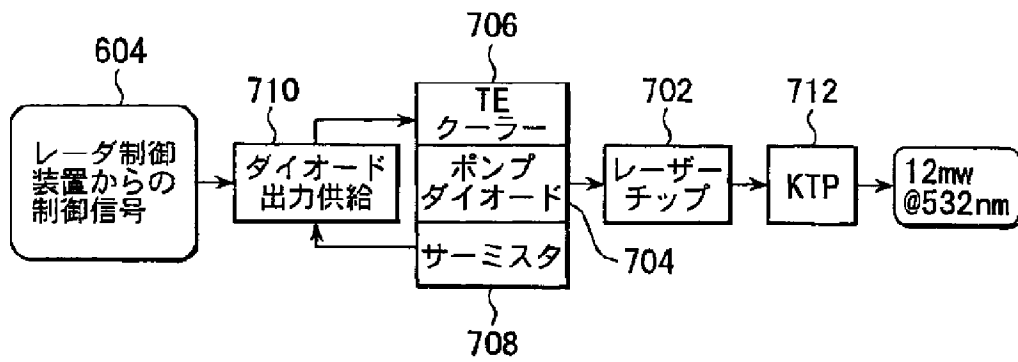


Figure 7

【図8】

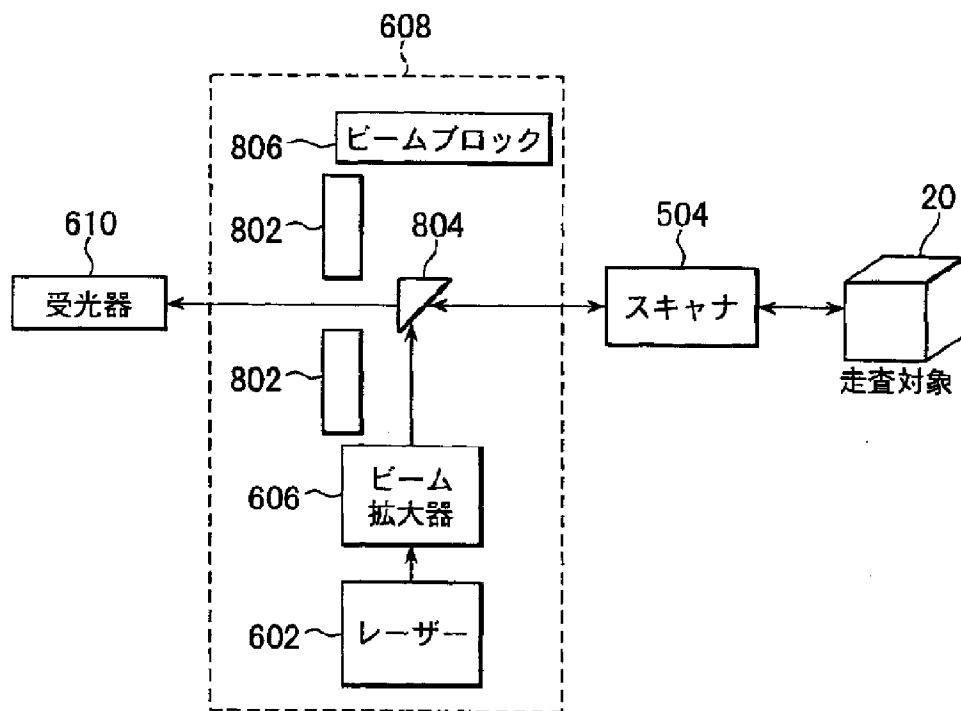


Figure 8

【図9】

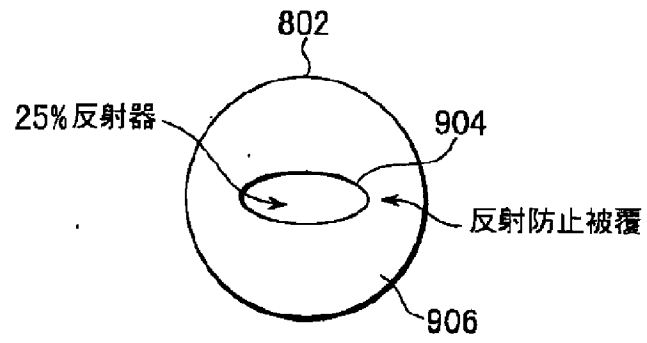


Figure 9

【図10】

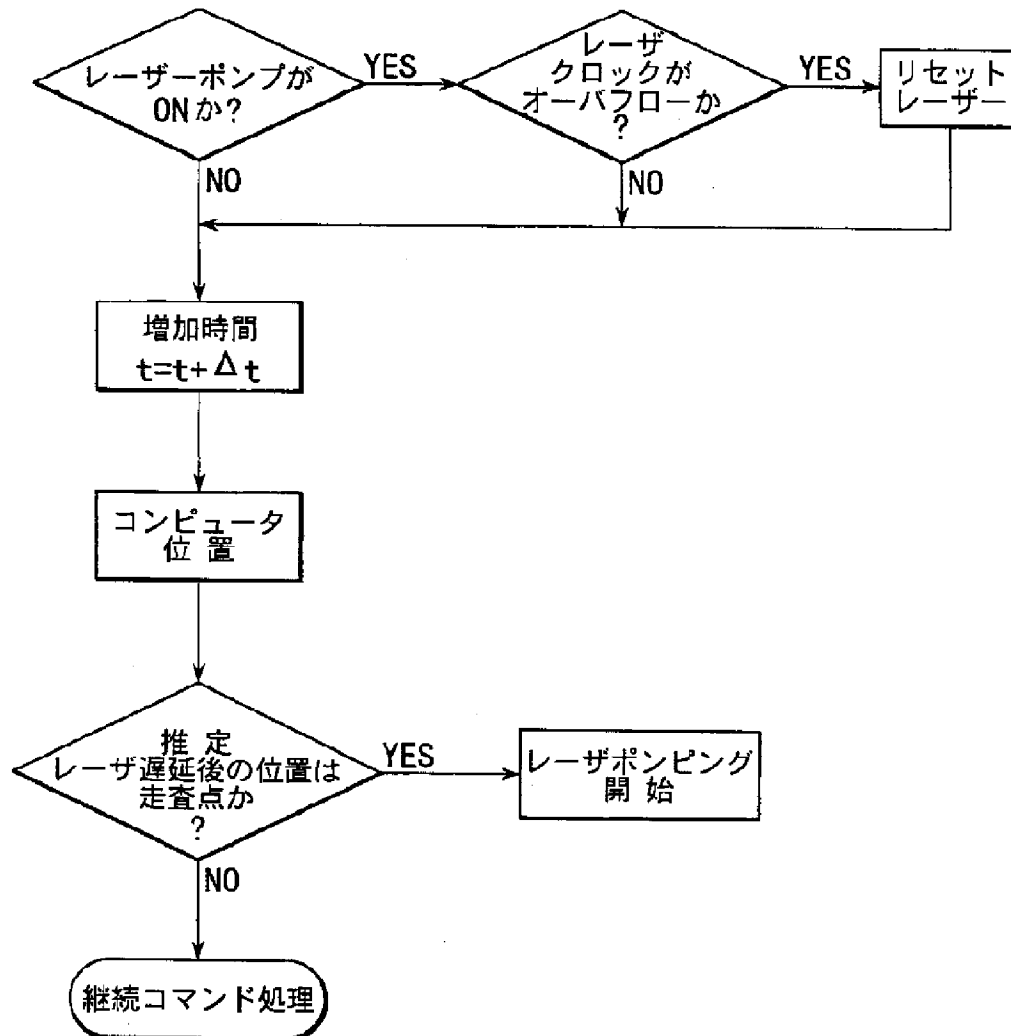


Figure 10

【図11】

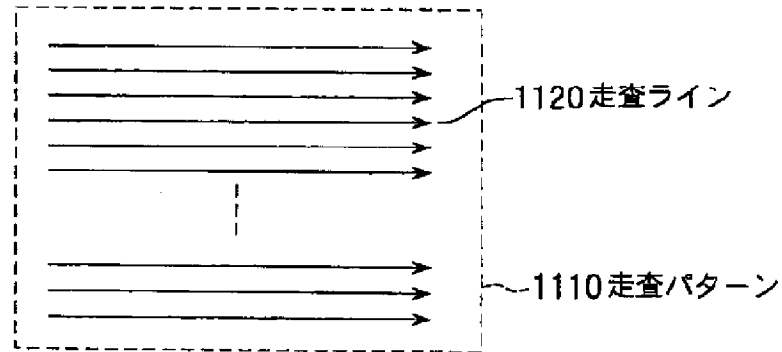


Figure 11A

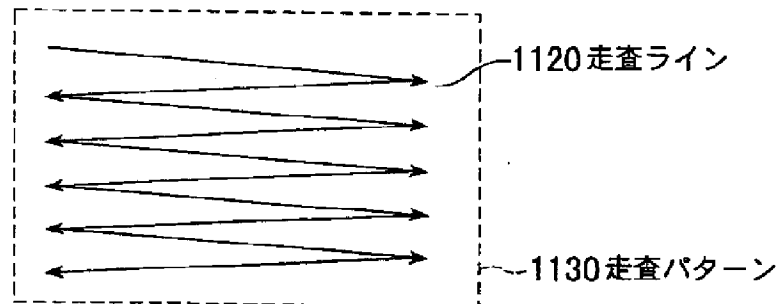


Figure 11B

【図12】

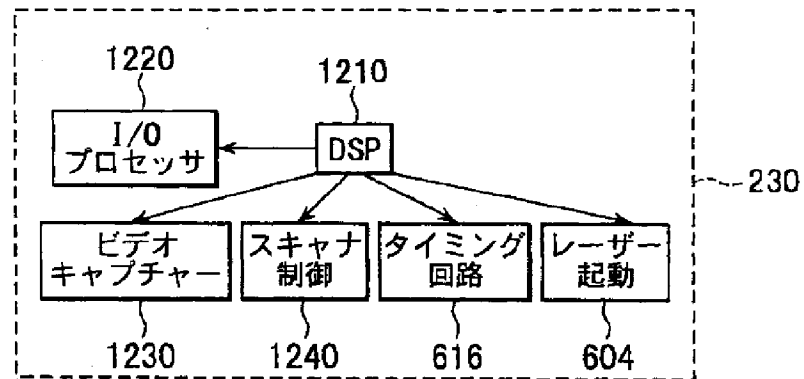


Figure 12

【図13】

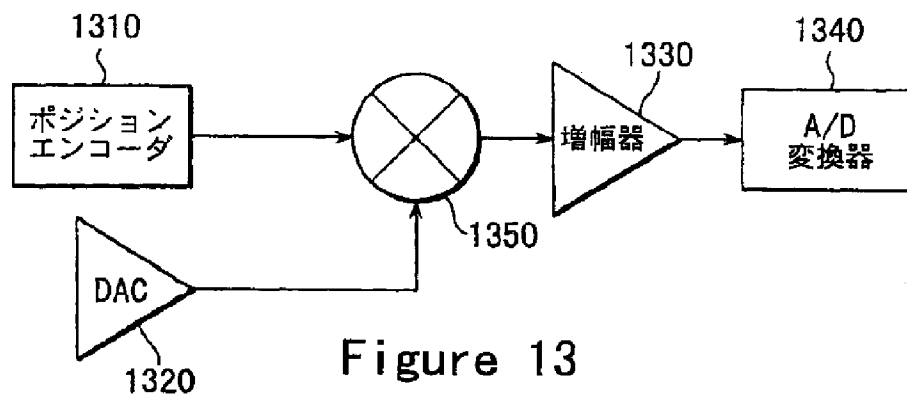


Figure 13

【図14】

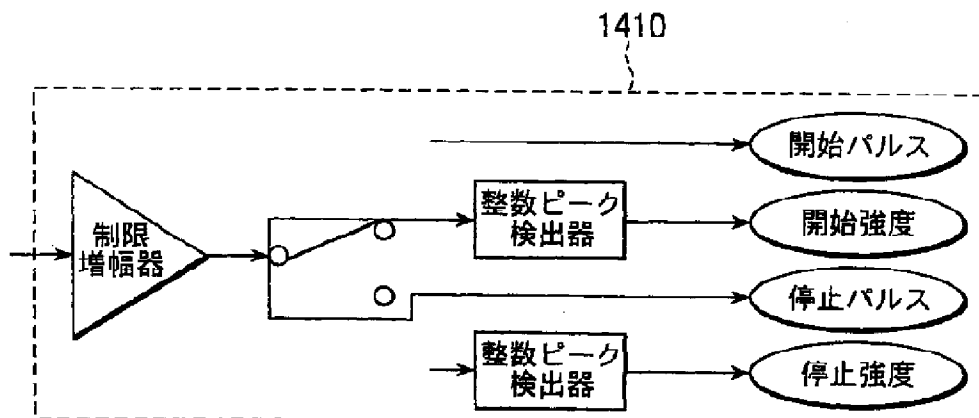


Figure 14

【図15】

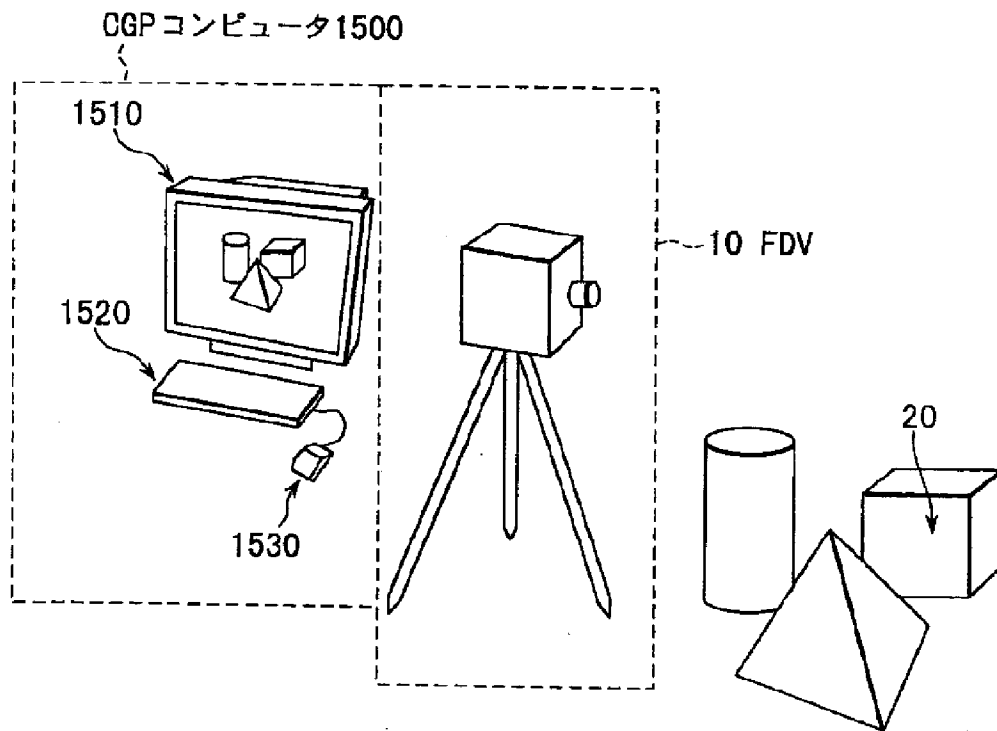


Figure 15

【図 16】

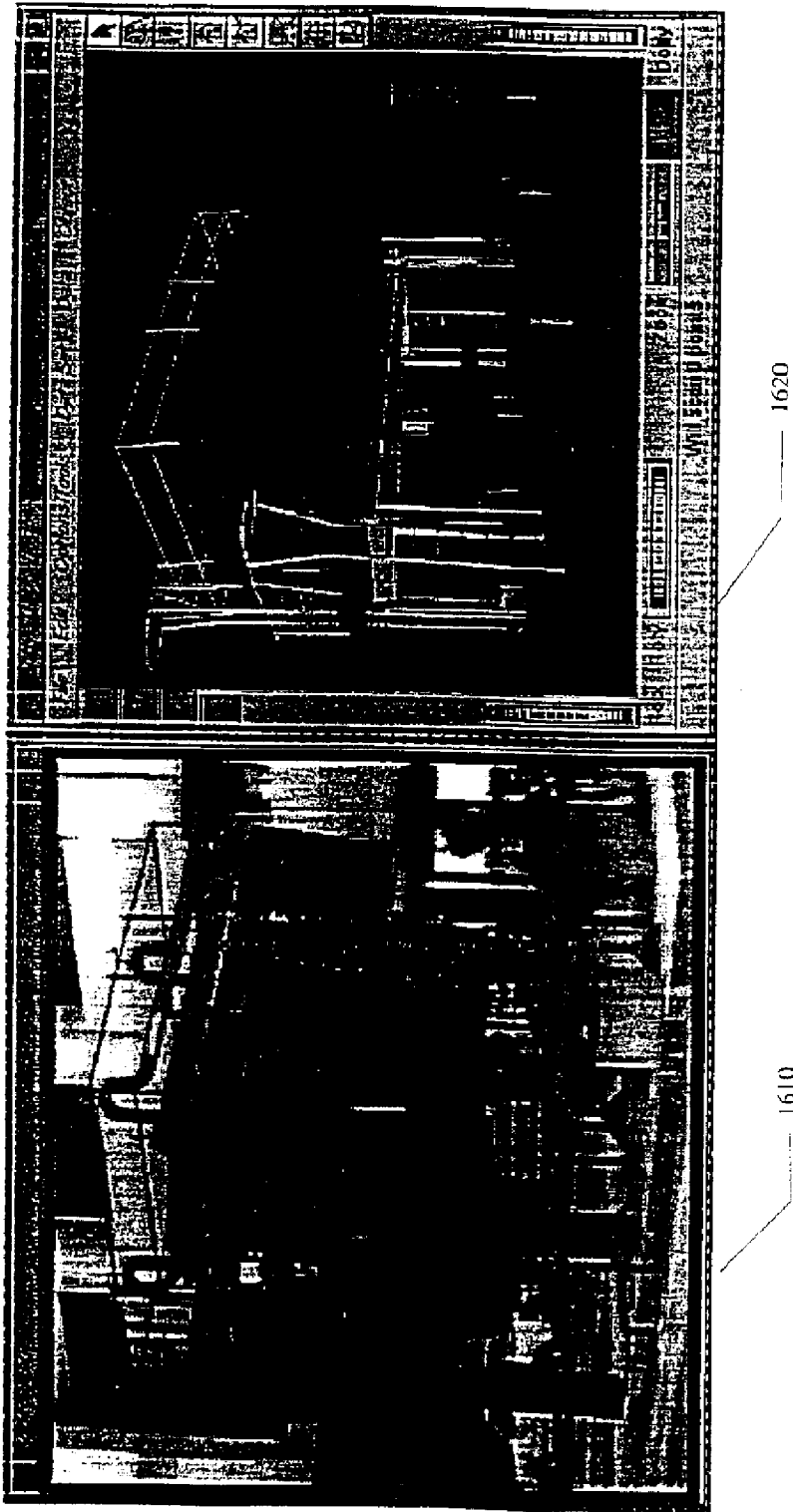


Figure 16

【図17】

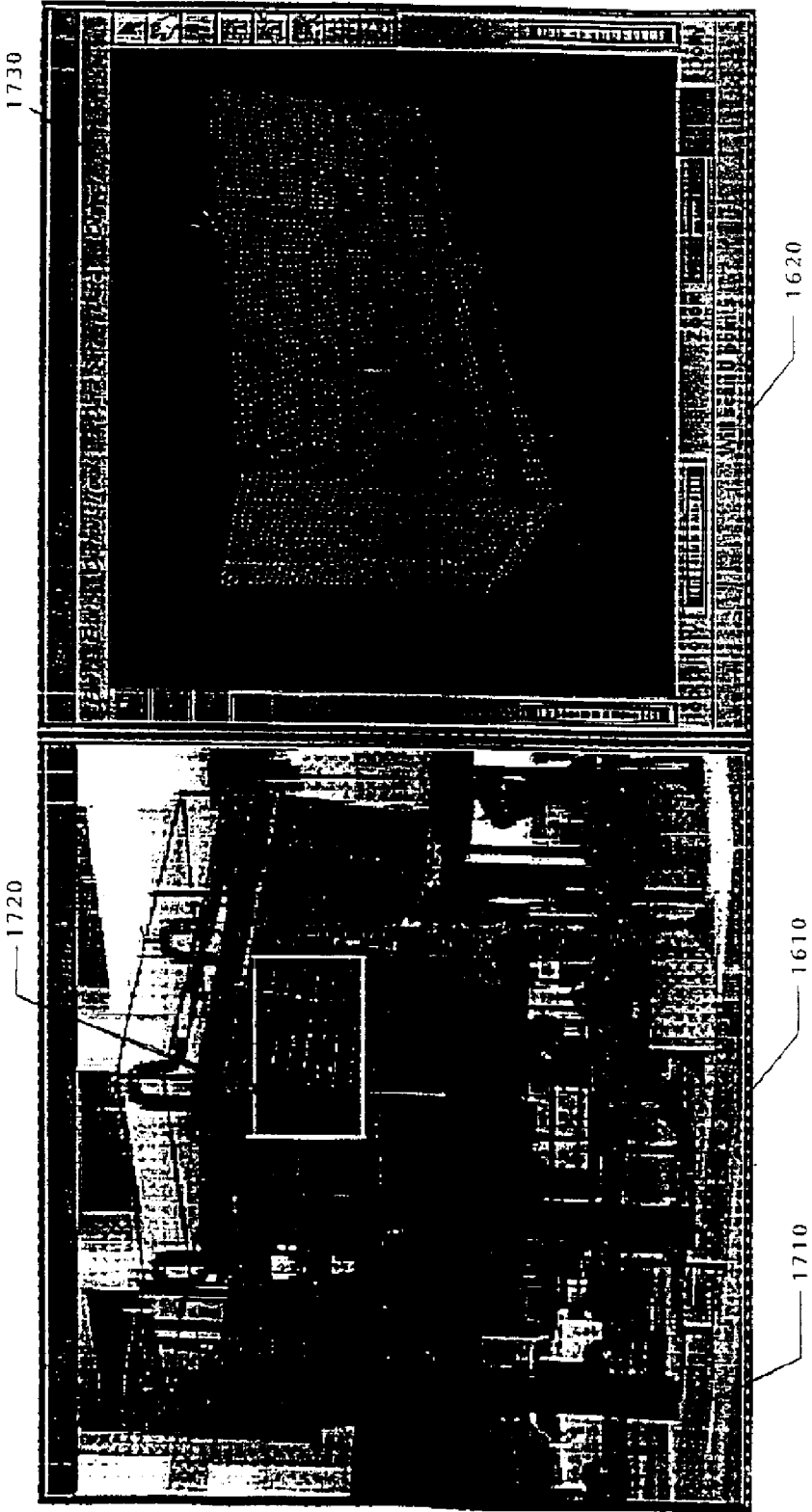


Figure 17

【図18】

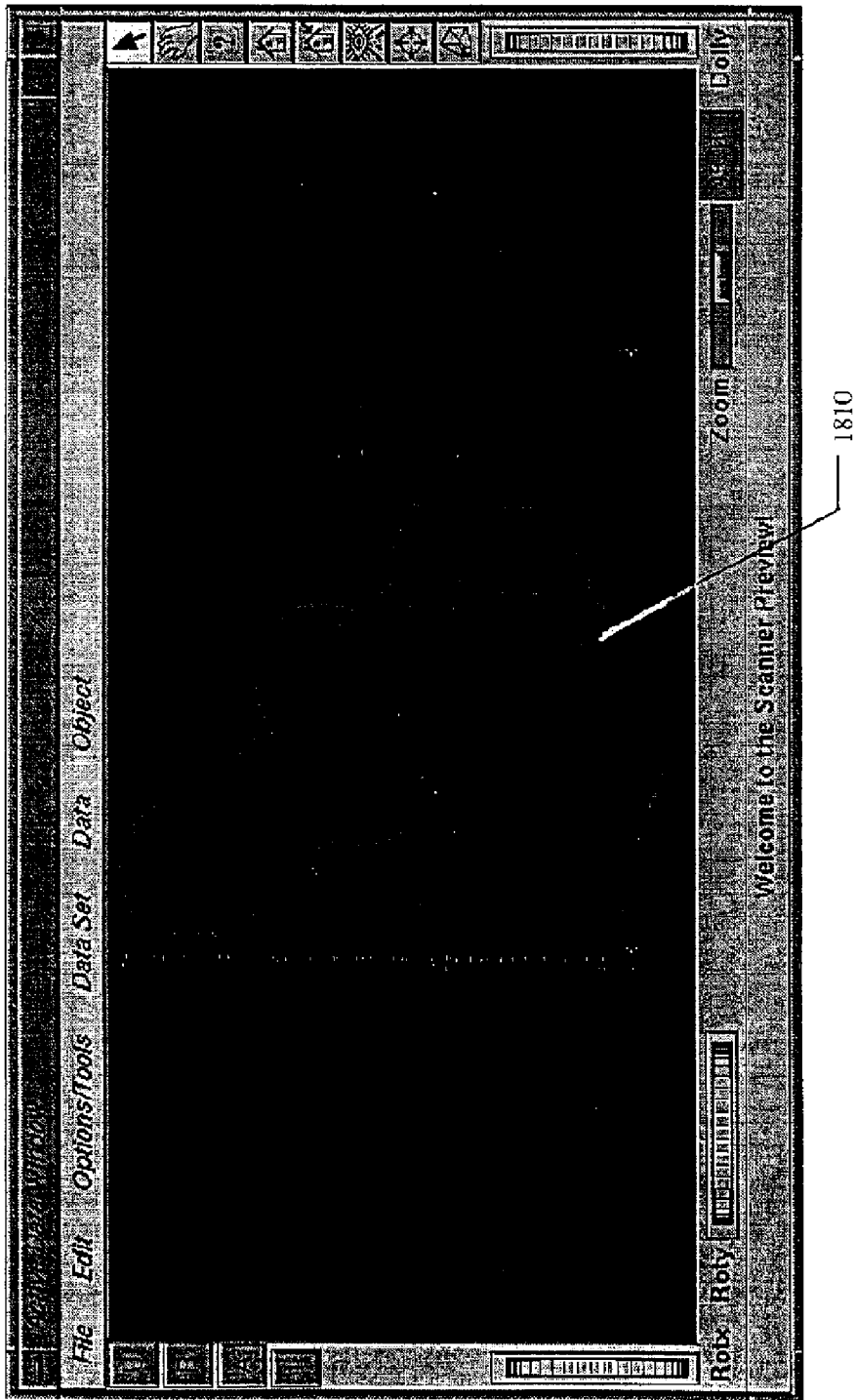


Figure 18

【図19】

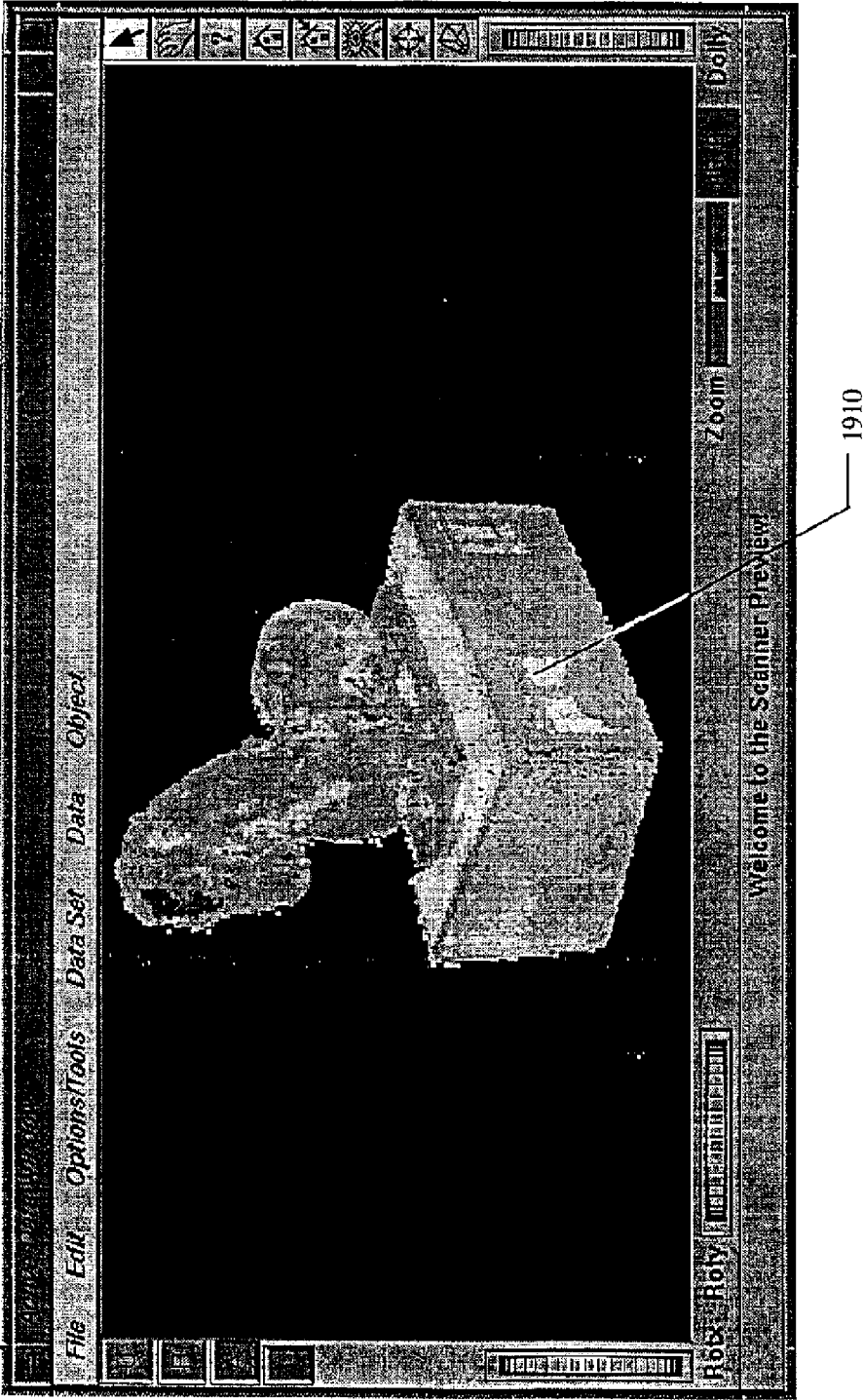


Figure 19

【図20】

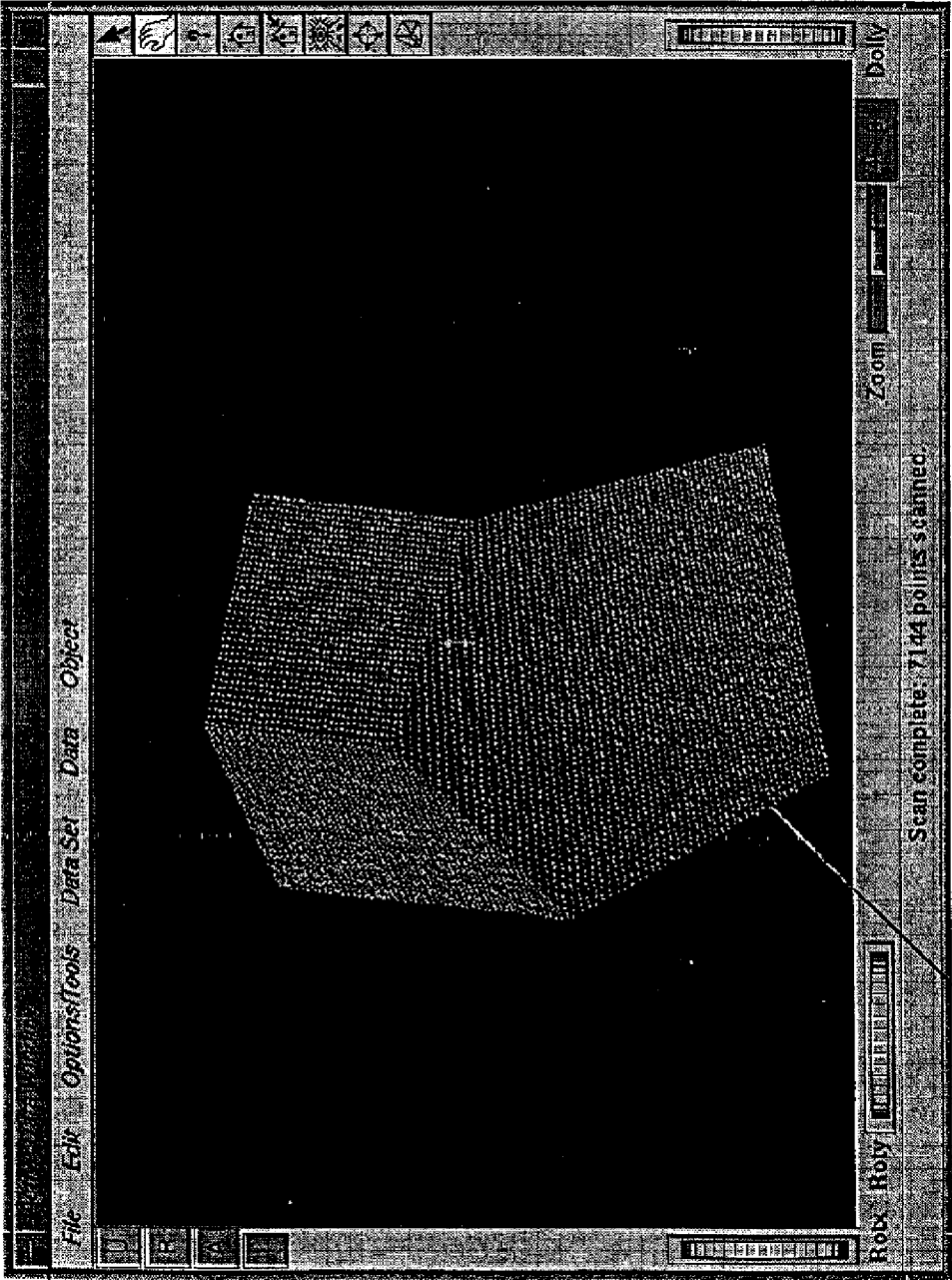


Figure 20

2010

【図 2 1】

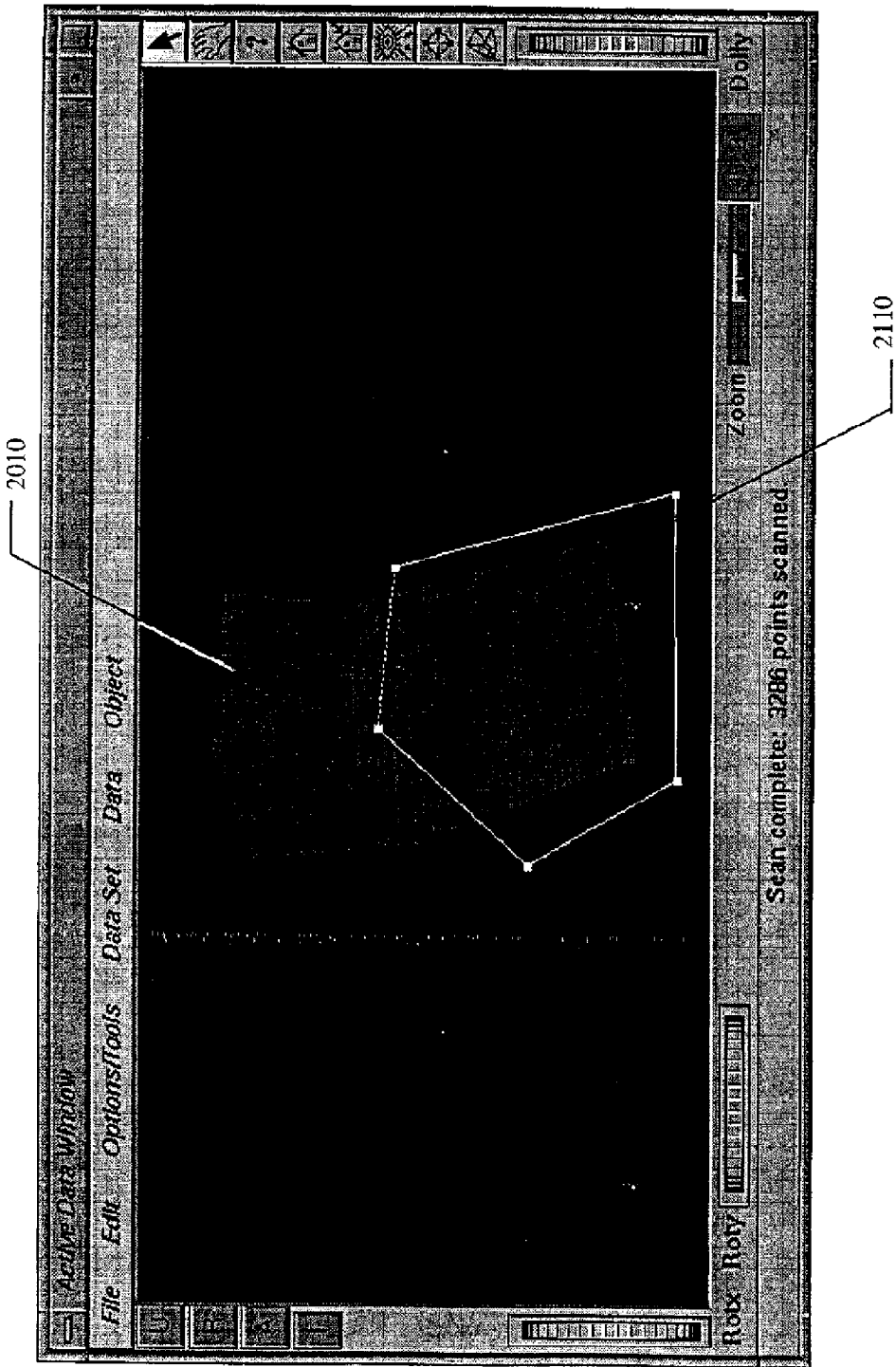


Figure 21

【図22】

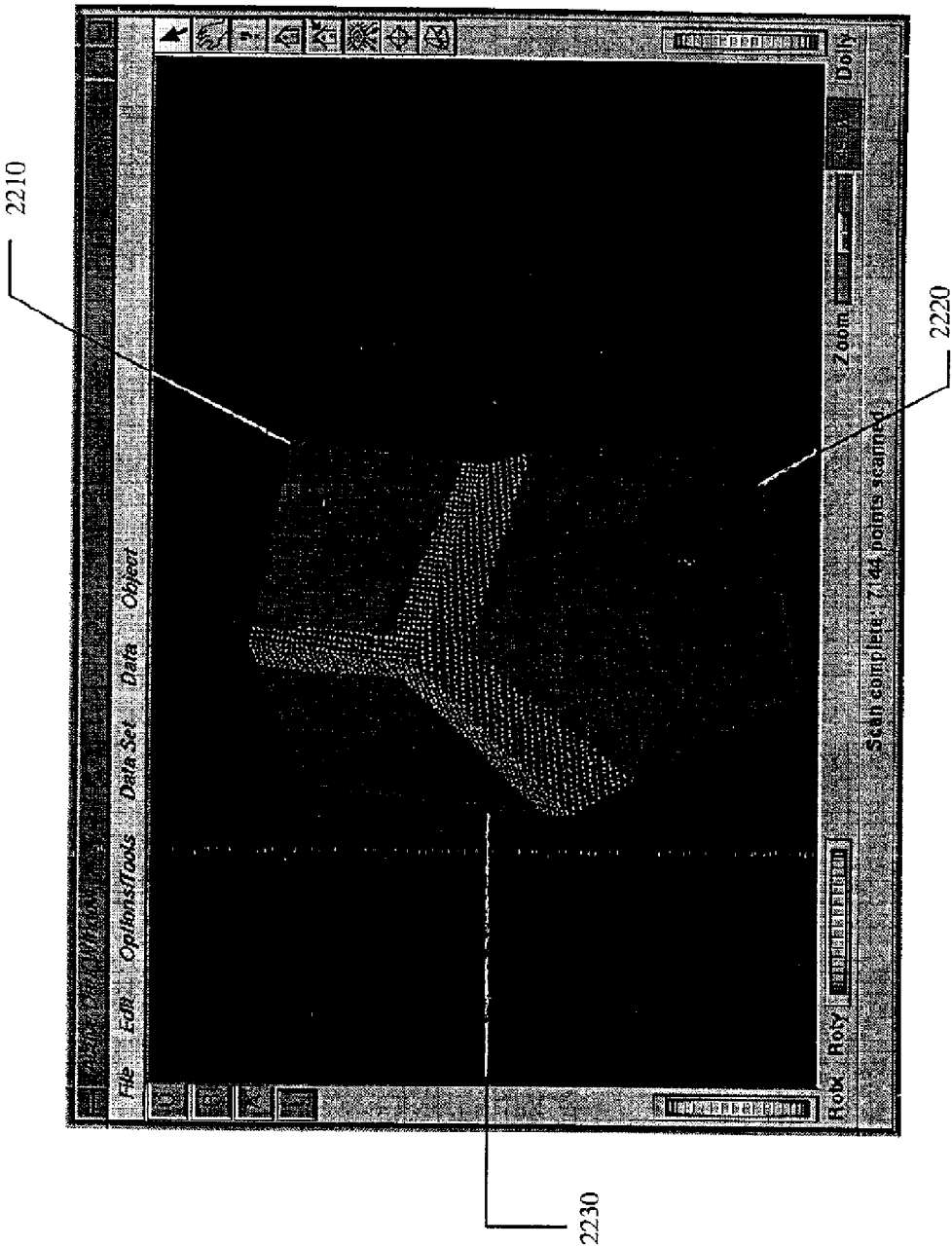
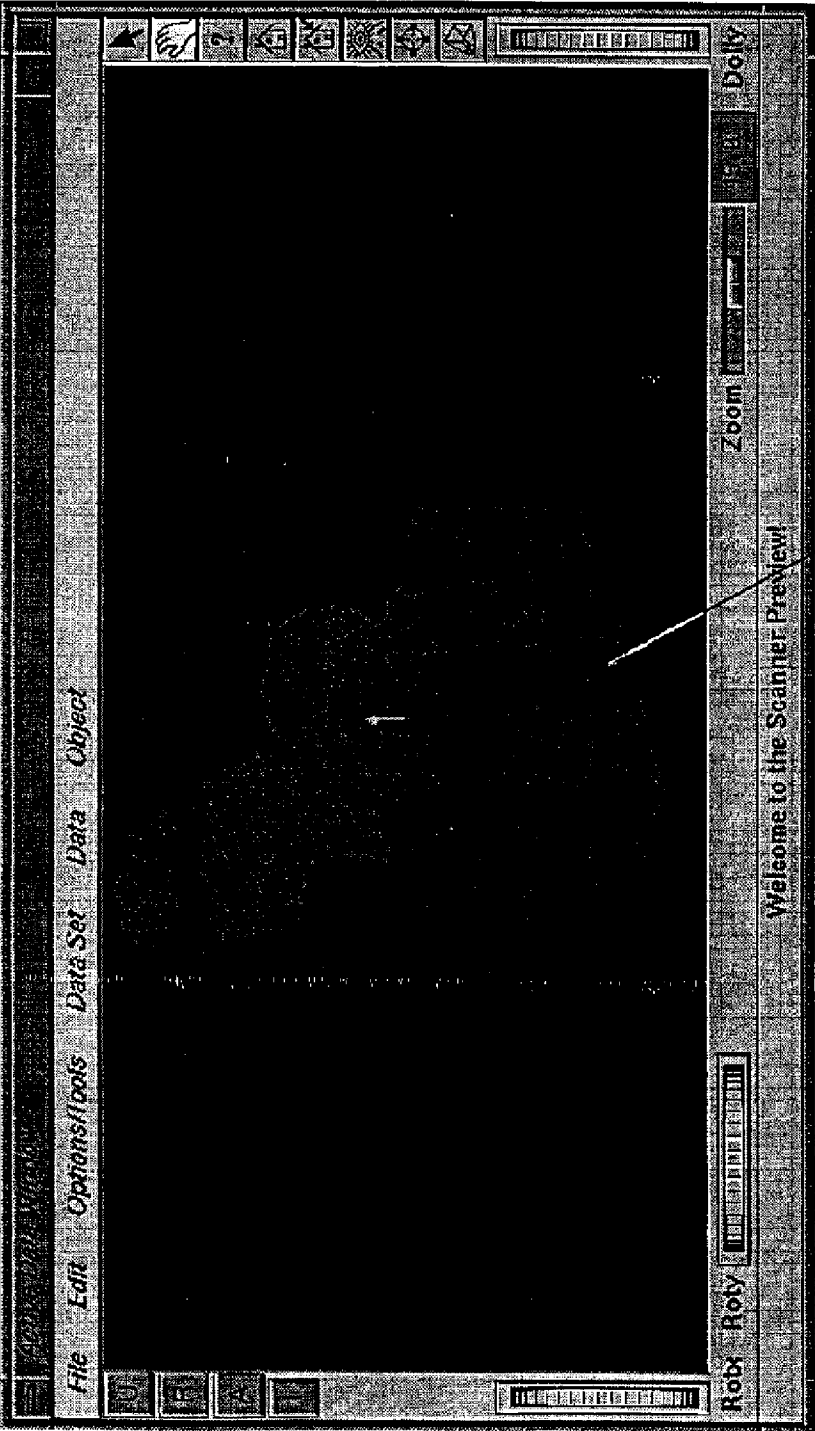


Figure 22

【図23】



2310

Figure 23

【図24】

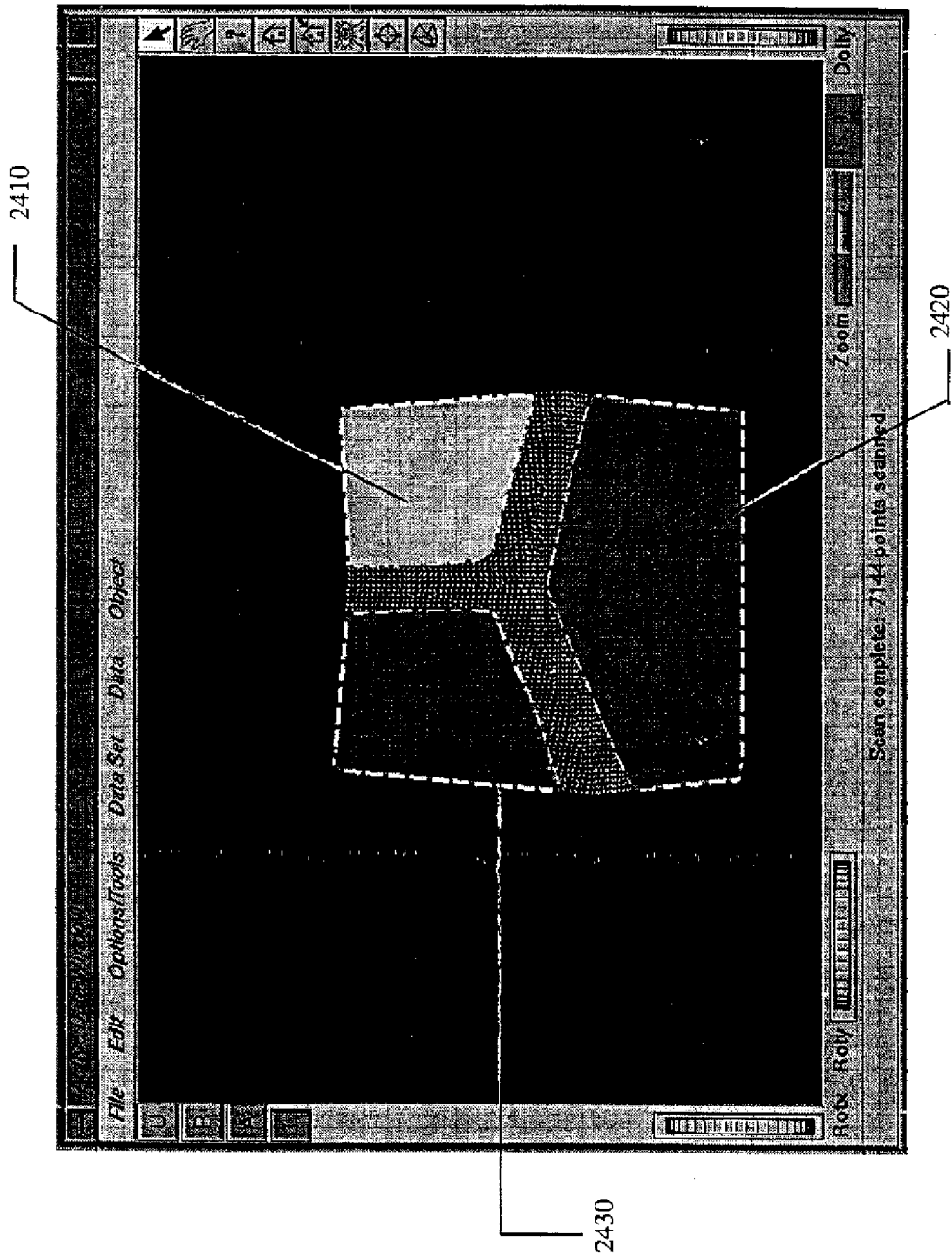


Figure 24

【図26】

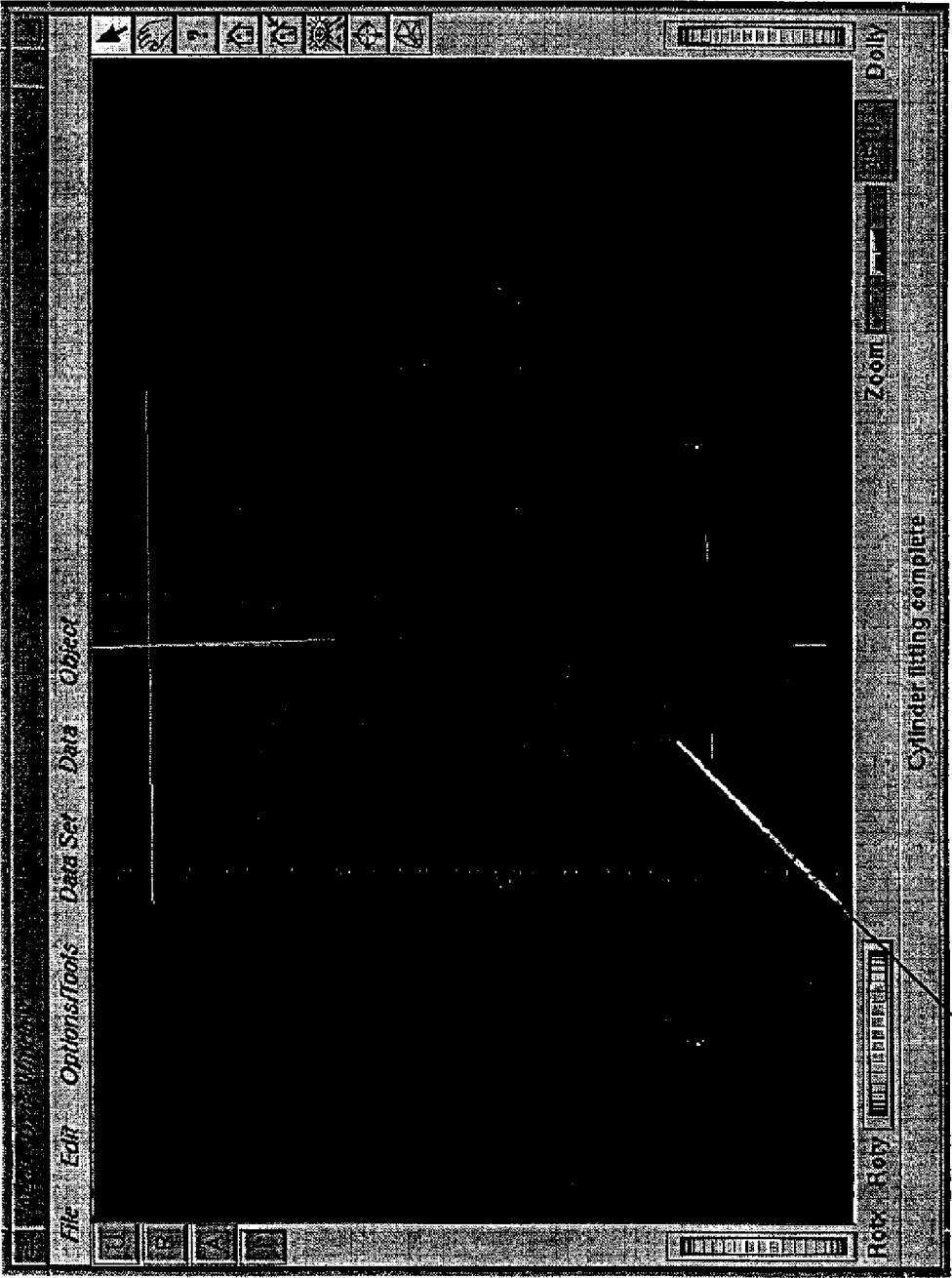


Figure 26

【図27】

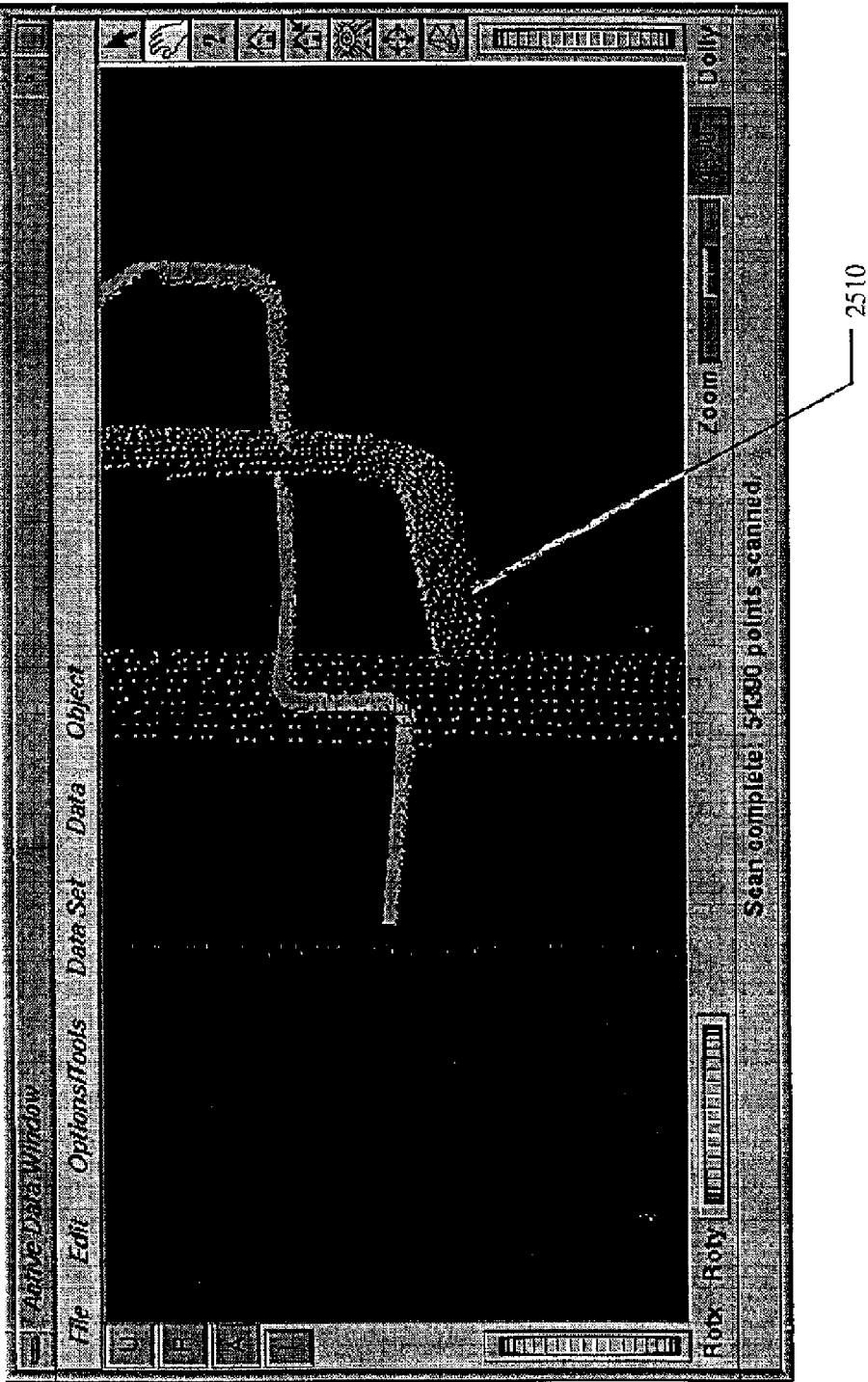


Figure 27

【図28】

2810

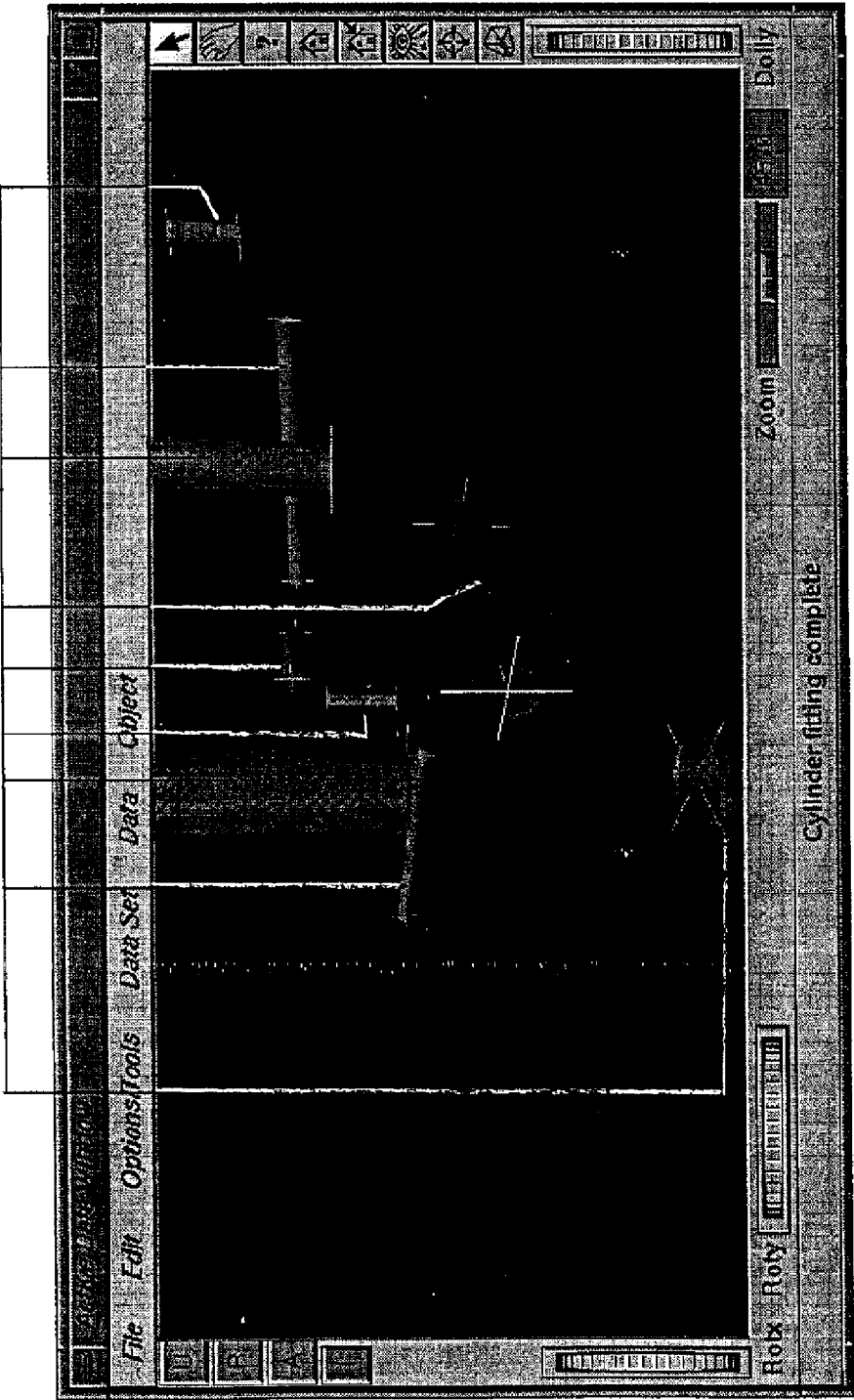


Figure 28

【図29】

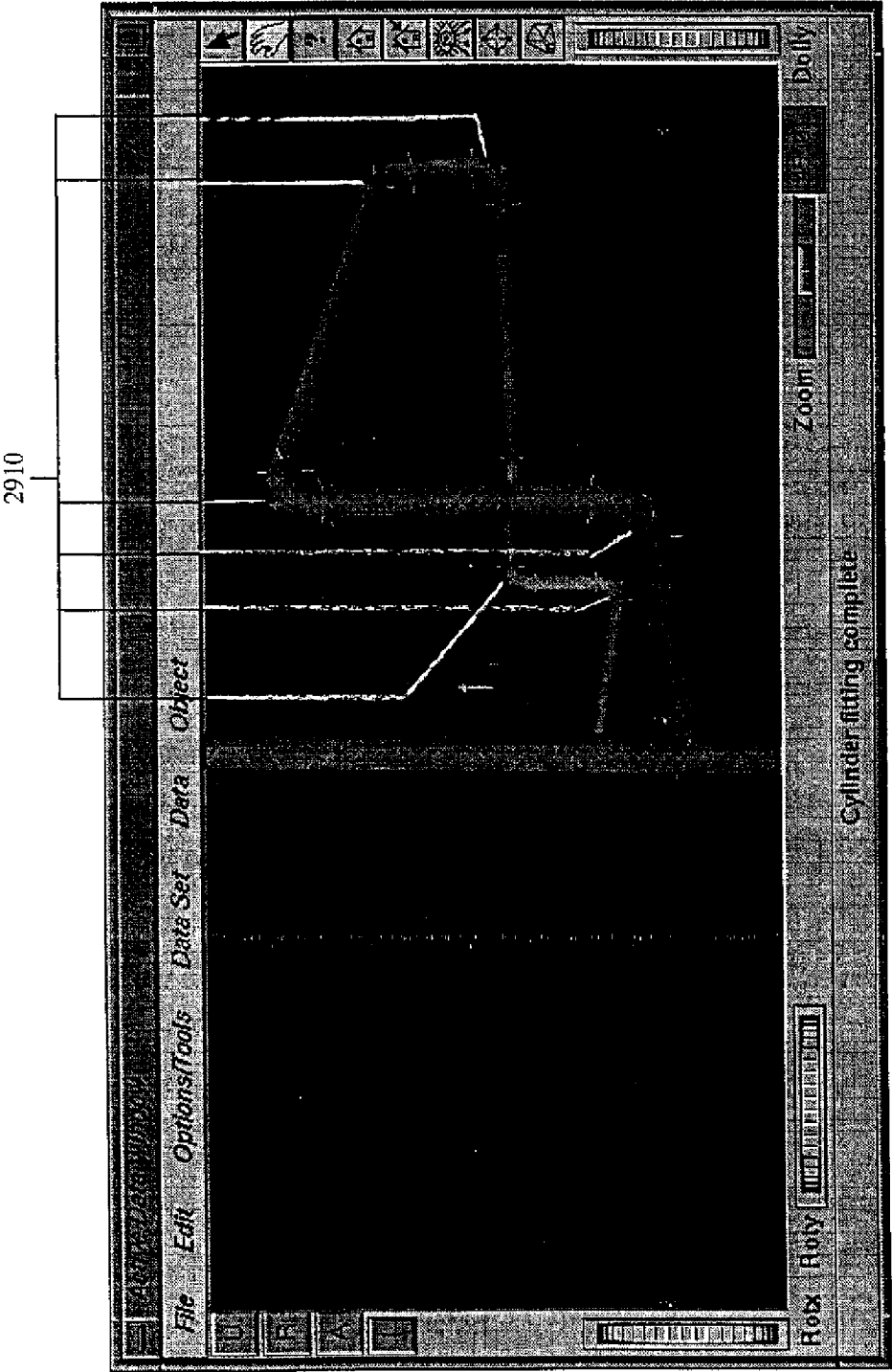


Figure 29

【図30】

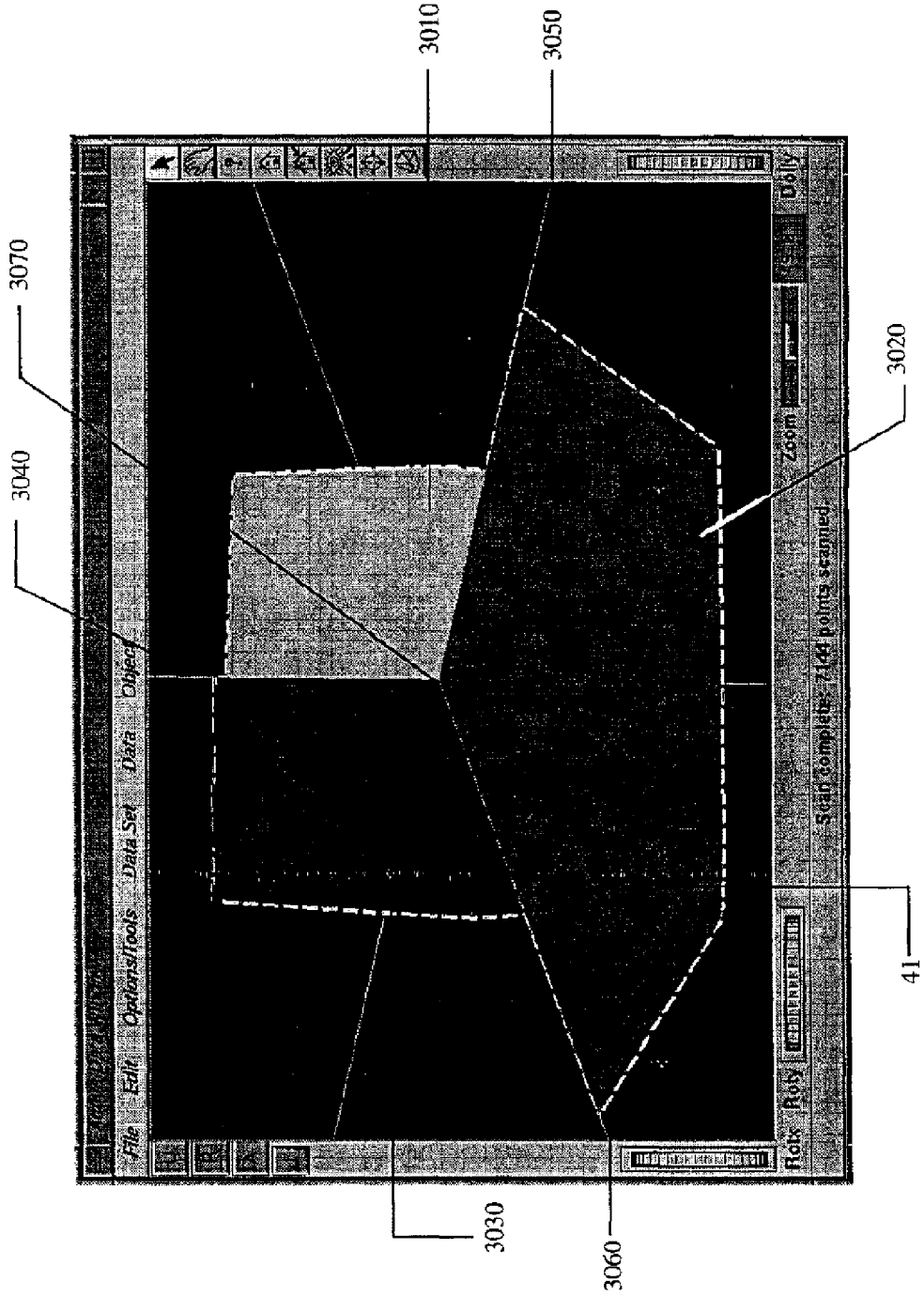
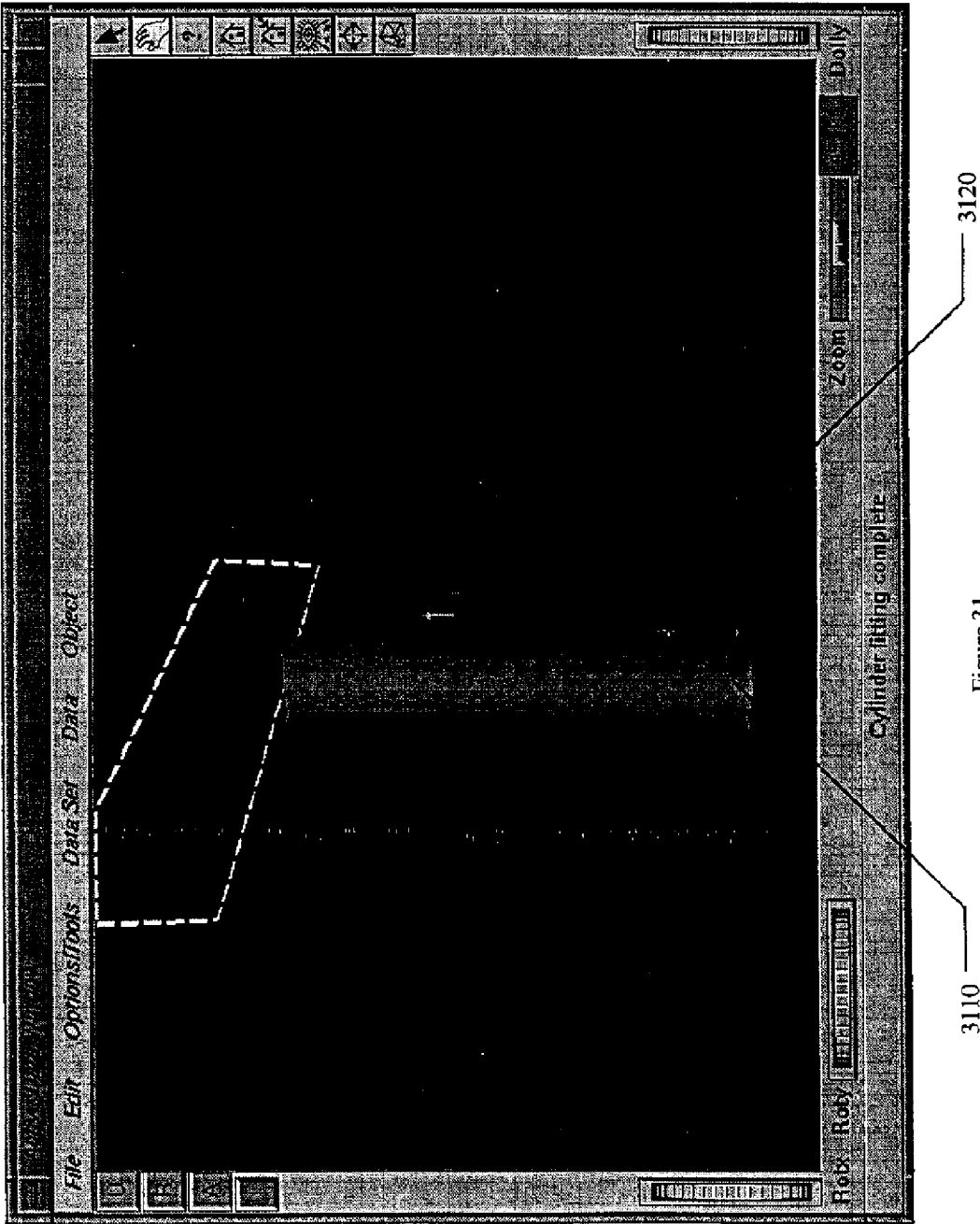
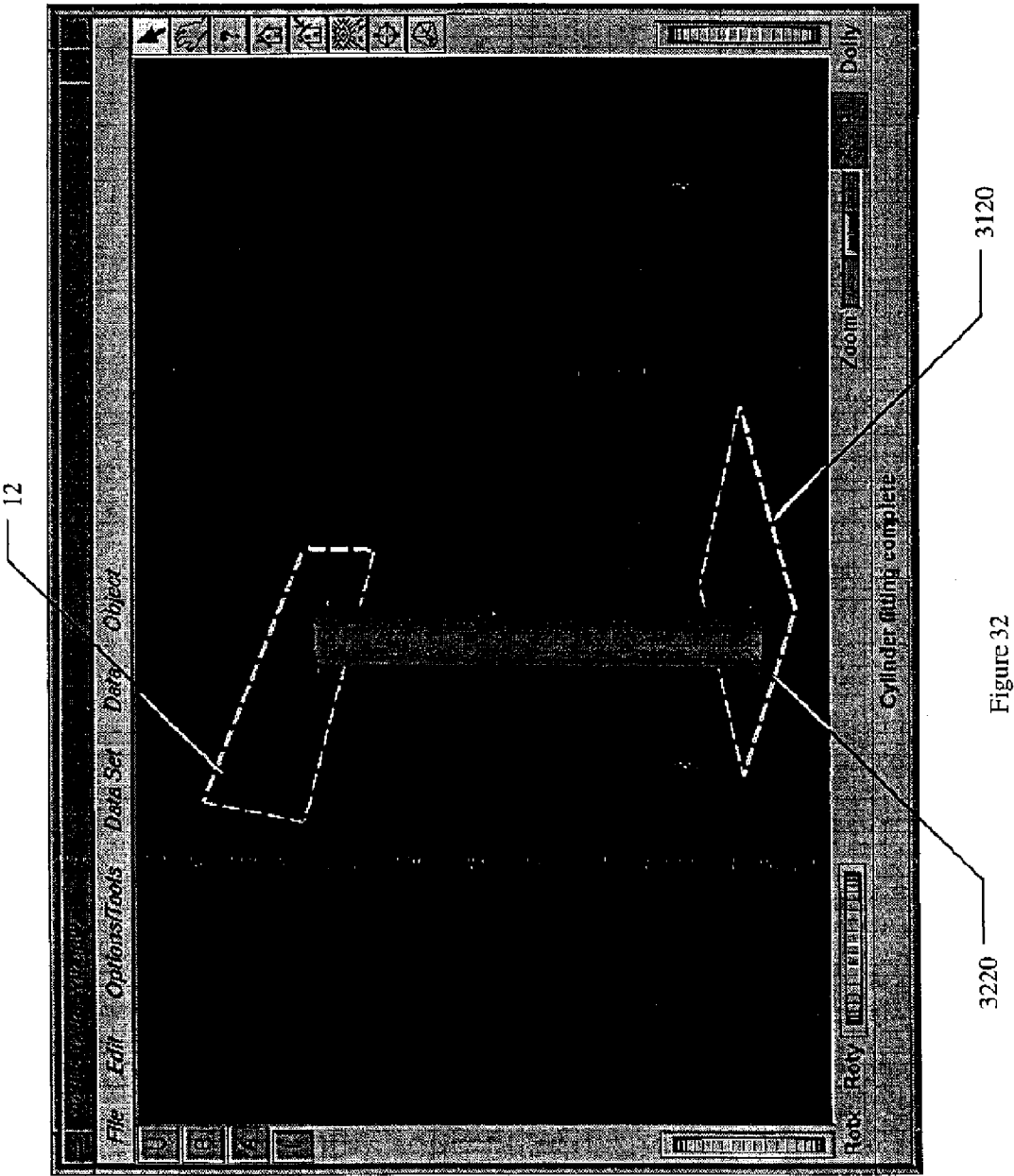


Figure 30

【図 3 1】



【図32】



【図33】

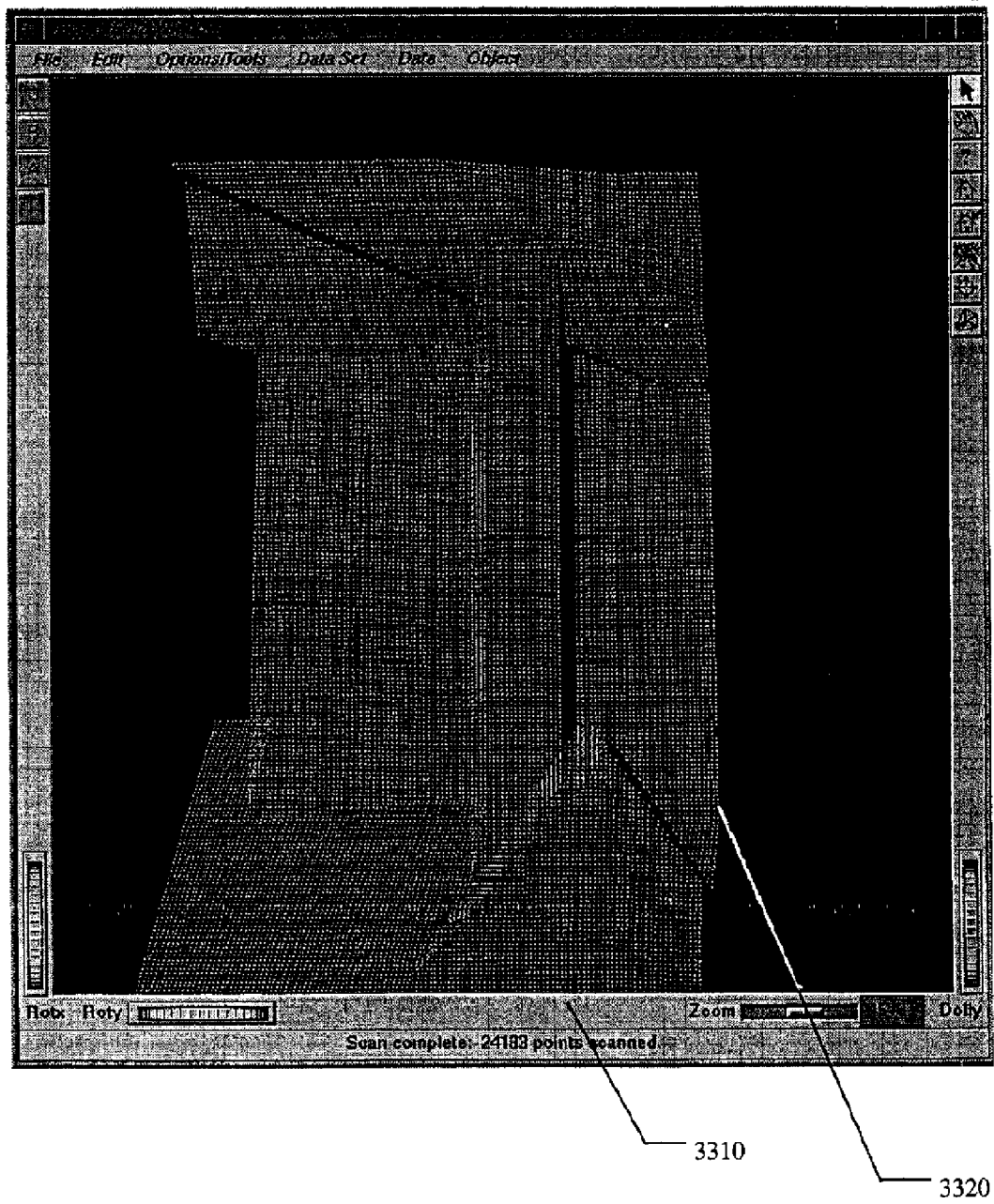


Figure 33

【図34】

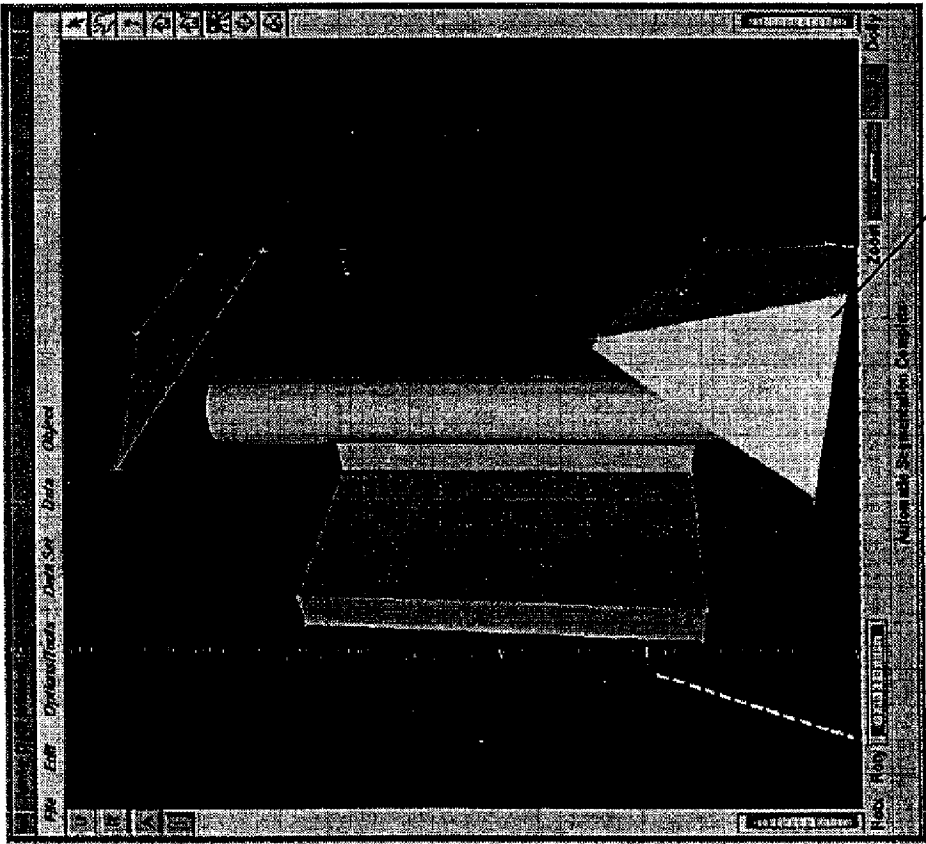


Figure 34

【図35】

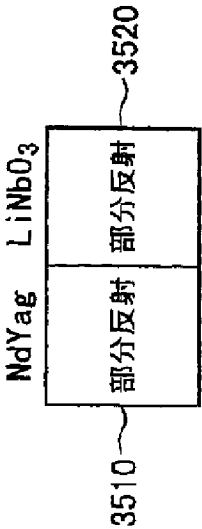


FIGURE. 35

【図36】

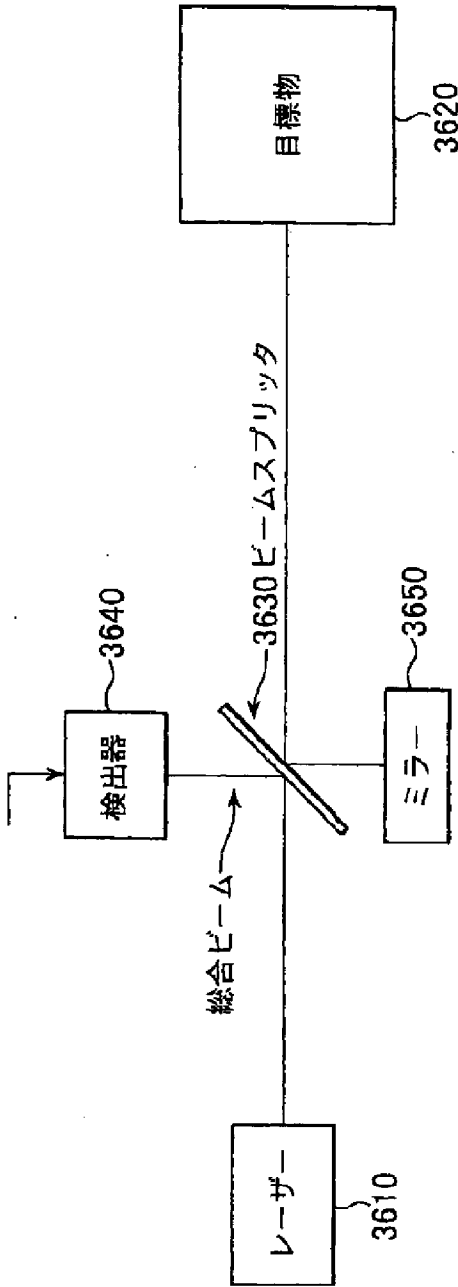


Figure 36

【図37】

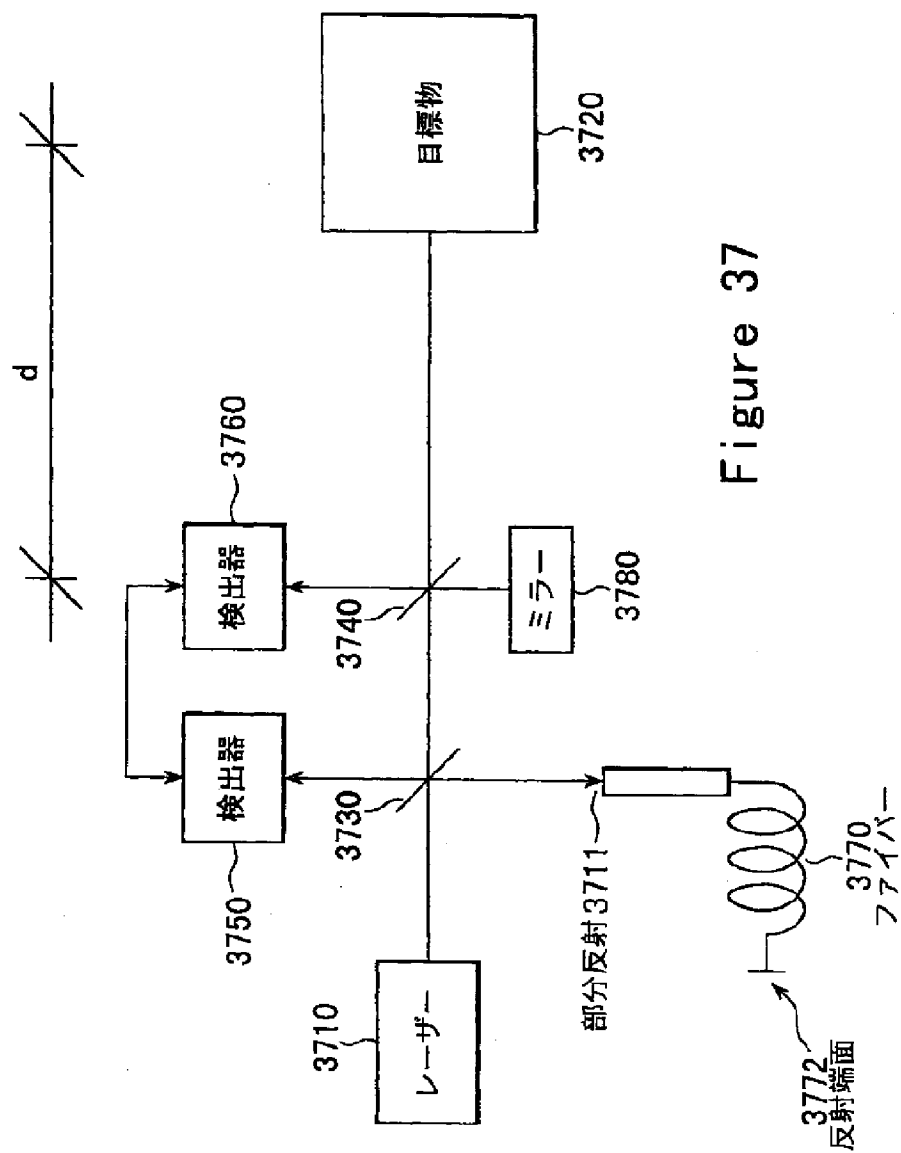


Figure 37

【図38】

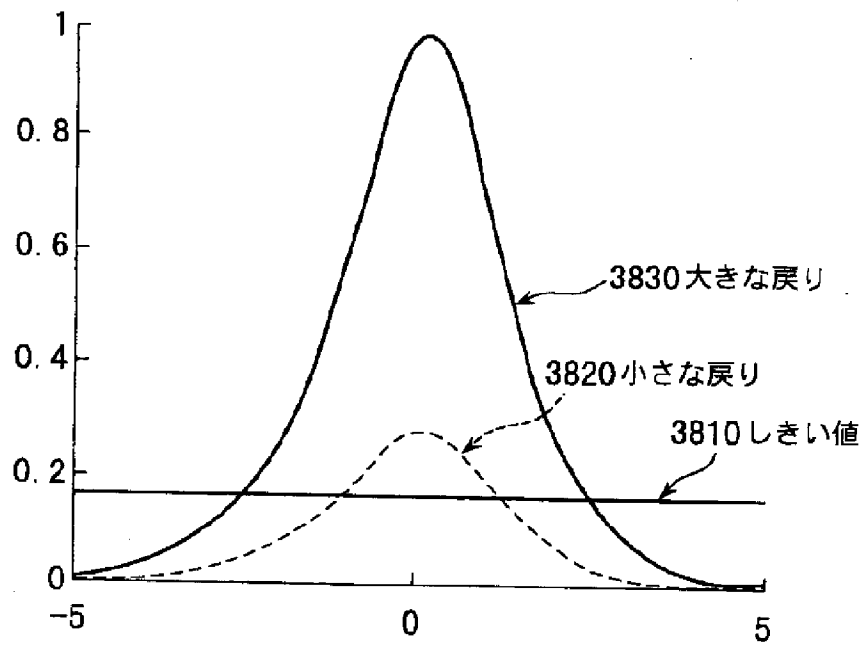


Figure 38

【図39】

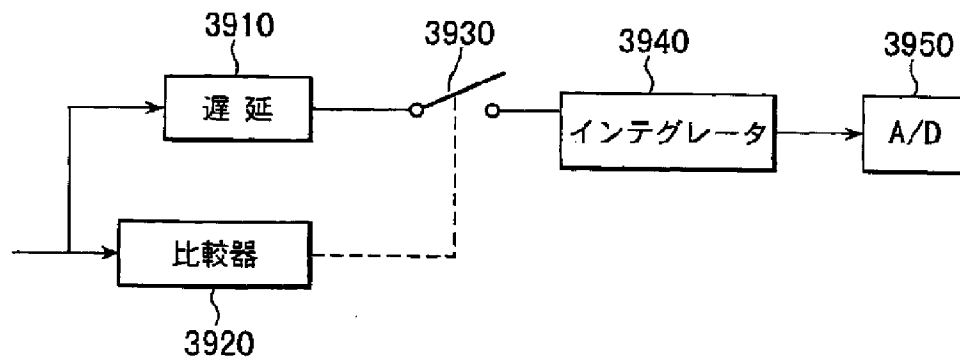


Figure 39

【図40】

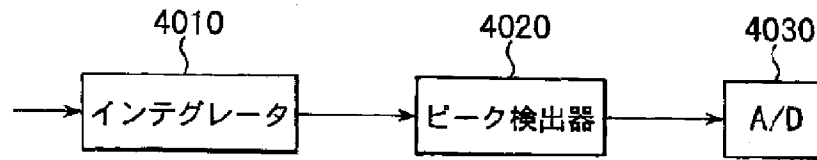


Figure 40

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/US 97/06793

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G01C11/00 G01B11/24 H01S3/131 G02B26/12 G06T5/00
 G06K9/00 G01S7/484 G01S7/497 G06T5/50 G01S17/89

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01C G01B H01S G02B G06T G06K G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | BRADLEY C ET AL: "FREE-FORM SURFACE RECONSTRUCTION FOR MACHINE VISION RAPID PROTOTYPING" OPTICAL ENGINEERING, vol. 32, no. 9, 1 September 1993, pages 2191-2200, XP000396836 see the whole document --- | 1-3 |
| X | GB 2 292 605 A (FOWLER ET AL.) 28 February 1996 see the whole document --- | 1-3 |
| A | US 4 658 218 A (G.A. KENNEY-WALLACE) 14 April 1987 see column 2, line 7 - line 50 --- -/- | 4 |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combinations being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 May 1998

Date of mailing of the international search report

03.06.98

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL-2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax (+31-70) 340-2016

Authorized officer

Devine, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/US 97/06793

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 531 (E-1614), 7 October 1994 & JP 06 188501 A (TOSHIBA CORP;OTHERS: 01), 8 July 1994, see abstract --- | 4 |
| A | CHIA-WEI LIAO ET AL.: "Surface Approximation of a Cloud of 3D Points" GRAPHICAL MODELS AND IMAGE PROCESSING, vol. 57, no. 1, January 1995, ORLANDO, FL, US, pages 67-74, XP000546682 see page 68, paragraph 2 --- | 5 |
| A | A.B. DOBRZENIECKI ET AL.: "Interactive and intuitive segmentation of volumetric data: The segmentview system and the Kooshball algorithm" INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP), vol. 3, 23 - 26 October 1995, WASHINGTON, US, pages 540-543, XP000623203 see page 540, paragraph 2 --- | 5 |
| P,Y | US 5 531 520 A (GRIMSON ET AL.) 2 July 1996 see abstract see column 1, line 60 - column 2, line 19 see column 7, line 32 - line 51 --- | 6-17 |
| Y | JONG HOON PARK ET AL.: "Three-dimensional object representation and recognition based on surface normal images" PATTERN RECOGNITION, vol. 25, no. 6, June 1993, HEAD.HILL HALL, OXFORD, GB, pages 913-921, XP000385019 see page 914, paragraph 2 see page 916, paragraph 3.2 --- | 6-17 |
| A | PAUL F. HEMLER ET AL.: "Active model matching in range images" IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, vol. 1, 31 March 1987 - 3 April 1987, RALEIGH, NC US, pages 228-233, XP000013293 see page 228, paragraph 1 see page 229, paragraph 3.1 see page 231, paragraph 6.1 --- | 6-17 |
| -/-- | | |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/US 97/06793

| C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|---|--|-----------------------|
| Category ^a | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | NARAYAN SRIRANGA RAJA ET AL.: "Obtaining generic parts from range images using a multi-view representation" IMAGE UNDERSTANDING, vol. 60, no. 1, July 1994, ORLANDO, FL, US, pages 44-64, XP000456566 see abstract see page 58; figure 30 --- | 6-17 |
| A | US 4 907 586 A (JOSEF F. BILLIE ET AL.) 13 March 1990 see column 4, line 46 - column 7, line 55 --- | 18 |
| Y | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 062 (P-111), 21 April 1982 & JP 57 094564 A (HITACHI LTD), 11 January 1982, see abstract --- | 19-21 |
| Y | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no. 324 (P-628), 22 October 1987 & JP 62 198172 A (FUJI ELECTRIC CO LTD), 19 May 1987, see abstract --- | 19-21 |
| A | DE 41 09 844 C (ELTRO GMBH) 11 June 1992 see the whole document --- | 19-22 |
| X | SHINICHI TAMURA ET AL.: "Error correction in laser scanner three-dimensional measurement by two-axis model and coarse-fine parameter search" PATTERN RECOGNITION, vol. 27, no. 3, March 1994, HEAD.HILL, OXFORD, GB, pages 331-338, XP000440586 see table 2 on page 335 --- | 23 |
| Y | | 24 |
| A | | 27, 28 |
| Y | TAKED KANADE ET AL.: "A very fast VLSI rangefinder" PROCEEDINGS OF THE 1991 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, April 1991, SACRAMENTO, CALIFORNIA, US, pages 1322-1329, XP000221223 see page 1329, right-hand column, paragraph 2 --- | 24 |
| A | | 26 |

-/--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/US 97/06793

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| A | JAMES D. SPINHIRNE: "Micro Pulse Lidar" IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, vol. 31, no. 1, January 1993, pages 48-55, XP002064008 --- | 25 |
| A | SATEESHA G. NADABAR ET AL.: "Fusion of range and intensity images on a connection machine (CM-2)" PATTERN RECOGNITION, vol. 28, no. 1, January 1995, KIDLINGTON, OXFORD, GB, pages 11-26, XP000486317 see page 11, paragraph 1 see page 12, paragraph 2 --- | 28-34 |
| A | KAZUO NAKAZAWA ET AL.: "Development of 3-D robot vision sensor with fiber grating" IECON'91 1991 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, CONTROL AND INSTRUMENTATION, vol. 3, 28 October 1991 - 1 November 1991, KOBE, JAPAN, pages 2368-2370, XP000325565 see page 2370, paragraph 2.3 see figures 2,5 ----- | 28-34 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 97/ 06793

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international Search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 8.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see continuation sheet

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/US 97/06793

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

1. claims 1-3: integrated system for imaging and modeling three-dimensional objects
2. claim 4: method of controlling the timing of pulses in a scanning laser
3. claim 5: method of manually separating subsets of the point data cloud
4. claims 6-17: method of segmentation and fitting of geometric primitives to the data points
5. claim 18: laser light pulses lasting less than 1 nanosecond with up to 0.2 J in each pulse
6. claims 19-22,35,36: single mode optical fiber of known length, a detector
7. claims 23-27: monitor system having specified accuracies
8. claims 28-34: video module for capturing image information from the object

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/US 97/06793

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|--|--|
| GB 2292605 A | 28-02-96 | AU 3263695 A CA 2198124 A EP 0805948 A WO 9606325 A | 14-03-96 29-02-96 12-11-97 29-02-96 |
| US 4658218 A | 14-04-87 | NONE | |
| US 5531520 A | 02-07-96 | CA 2198492 A EP 0778967 A JP 9511430 T WO 9607144 A | 07-03-96 18-06-97 18-11-97 07-03-96 |
| US 4907586 A | 13-03-90 | NONE | |
| DE 4109844 C | 11-06-92 | NONE | |

フロントページの続き

- (72)発明者 ブランクハート、マーク
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94610、オークランド、モンテシト・アベ
ニュー 140、ナンバー 201
- (72)発明者 クン、ジョナサン・アボロ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94709、パークレイ、リッジ・ロード
2523、アパートメント 106
- (72)発明者 ザワルト、クリストファー・ロビン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94611、オークランド、モラガ・アベニュー
5834

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
【部門区分】第6部門第1区分
【発行日】平成16年12月2日(2004.12.2)

【公表番号】特表2000-509150(P2000-509150A)
【公表日】平成12年7月18日(2000.7.18)
【出願番号】特願平9-538308
【国際特許分類第7版】

G 0 1 B 11/24
G 0 1 B 11/00
G 0 1 C 11/00
G 0 6 F 17/50
G 0 6 T 7/00

【F I】

| | | |
|---------|-------|---------|
| G 0 1 B | 11/24 | K |
| G 0 1 B | 11/00 | H |
| G 0 1 C | 11/00 | |
| G 0 6 F | 15/60 | 6 2 4 A |
| G 0 6 F | 15/62 | 4 1 5 |

【手続補正書】
【提出日】平成16年3月10日(2004.3.10)
【手続補正1】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】特許請求の範囲
【補正方法】変更
【補正の内容】

手 続 補 正 書



平成16年3月10日

特許庁長官 殿

1 事件の表示

平成9年特許願第538308号

2 補正をする者

名 称 サイラ・テクノロジーズ・インク

3 代 理 人

住 所 東京都千代田区永田町1丁目11番28号
相互永田町ビルディング 8階

電話 3581-9371

氏 名 (7101) 弁理士 山 崎 行 造



4 補正対象書類名

請求の範囲

5 補正対象項目名

請求の範囲

6 補正の内容

別紙のとおり。

請求の範囲

1. 三次元シーンのモデルを生成する統合装置であって、
三次元シーンを走査して点暗影を生成する走査レーザー装置であって、前記点暗影が複数のデータ点からなり、前記複数のデータ点の各々が前記シーンの表面上の対応する点の位置を表す走査レーザー装置と、
前記点暗影に応答して前記シーンの構成要素の幾何学的形状を表す第1モデルを生成する手段とを備える装置。
2. 請求項1の装置において、第1のモデルに応答してデータファイルを生成する手段を更に備え、前記データファイルはコンピュータ支援設計(CAD)システムへの入力に適する装置。
3. 請求項2の装置において、前記CADシステムの実行を開始し、且つ前記データファイルを前記CADシステムに入れる手段を更に備える装置。
4. レーザー出力の走査を要求する装置で使用し、前記レーザーからの出力パルスのタイミングを制御する方法であって、各出力パルスがポンプパルスに
応答して生成される方法において、
前記パルスの開始と関連する出力パルスの次の発生との間の時間遅延を監視する段階と、
前記監視された時間遅延に基づいて、次のポンプパルスの発生と関連する出力パルスとの間の時間遅延を予測する段階と、
ビームの走査の間の前記レーザー出力の適切な位置決めを可能とする時間に前記出力パルスが生成されることを保証するように選択された時間で次のポンプパルスを開始する段階とを含む方法。
5. シーン内で三次元特徴を表す複数の点暗影から、前記シーン内の所望の特徴を表す前記点の下位集団をマニュアルで分離する方法において、
前記所望の特徴を表す少なくとも幾つかのデータ点を含む全ての点暗影を選択する段階と、
前記暗影のビューを変更し、多角形の投げ縄を描いて、選択された下位集団の点をより精密にして、点の下位の暗影に含まれるようにする段階とを含む方法。
6. シーンの走査フィールドを、前記シーン内の異なる表面を表す下位集合の点に自動的に分割する方法であって、
前記走査フィールドを、前記シーン内の表面の走査点に関する深さ情報を含む深さグリッドと、前記表面の走査点への法線の予測を含む垂直グリッドとに分離する段階と、
前記深さグリッドの深さ情報を包含して深さ比率イメージを生成し、前記イメージの値が前記シーン内での一つの走査点から他の走査点深さの変化の

傾きを表す段階と、

前記垂直グリッドの構成要素を包含して前記垂直グリッドの各点ごとの各構成要素に関してスカラー値を生成する段階と、

前記垂直グリッドの各点ごとに、前記特定の点の構成要素に関するスカラー値からその点における法線の傾斜を決定し、前記垂直グリッドの前記点に関して決定された前記傾斜は垂直比率のイメージを集团的に構成する段階と、

前記深さ比率イメージを帰納的しきい値方法を用いて二値の深さイメージに変換する段階と、

前記垂直比率イメージを帰納的しきい値方法を用いて二値の垂直イメージに変換する段階と、

前記二値の深さイメージと前記二値の垂直イメージとを組合せて単一の端部イメージを決定する段階と、

前記シーンの対応する表面になじむように端部でない点の下位の集団をグループ化する段階とを含む方法。

7. 請求項6の方法において、最初に各グループの点を最善のものとする幾何原図の種類を決定する段階と、前記幾何原図を前記データ点に適合させる段階とを更に含む方法。

8. 請求項7の方法において、前記シーンの隣り合う平面領域を交差する段階とを更に含む方法。

9. コーナーを表す点暗影を正しい位置に当てはめる方法であって、
前記点暗影の点への3つの平面の適合を決定し、モデルのために平面を作る段階と、

対の平面の交点にある3つのラインを決定し、前記モデルのためのラインを作る段階と、

前記3つの面の交点の頂点を決定し、前記モデルのための頂点を作る段階とを含む方法。

10. 三次元シーンをモデル化する方法において、
各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する段階と、
表面法線予測及びグローバル誤差最少化法を用いて一群の点に対する円筒の最善の適合を決定する段階とを含む方法。

11. 三次元のシーンをモデル化する方法であって、
各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する段階と、
二次曲面及びグローバル誤差最少化法を用いて一群の点に対する円筒の最善の適合を決定する段階とを含む方法。

12. 三次元のシーンをモデル化する方法であって、
各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する段階と、

二次曲面及びグローバル誤差最少化を用いて一群の点に対する球面の最善の適合を決定する段階とを含む方法。

- 1 3. 三次元のシーンをモデル化する方法であって、
 - 各点が前記シーンの表面上の点を表す複数の点を生成する段階と、
 - 一群の点に対する二次曲面の最善の適合を決定する段階と、
 - 二次曲面の最善の適合によって描かれる複数のファミリーのどの幾何原図が前記一群の点と適合するのかを決定する段階とを含む方法。
- 1 4. 同一の種類 of 2つの幾何原図を併合してその種類の単一の幾何原図を形成する方法であって、
 - 前記2つの原図の各々を最初に適合するために用いた点を組合せることによって新たなグループの点を作る段階と、
 - 適当な適合方法及び元の図の各々からの点を持つ新たに生成された点のグループを用いて新たな幾何原図を適合する段階とを含む方法。
- 1 5. 複数の点及び幾何原図からなるとともに第1座標系を持つ第1のモデルと、複数の点及び幾何原図からなるとともに第2座標系を持つ第2のモデルとを記録する方法であって、
 - 第1及び第2のシーンの共通する特徴をユーザーが特定する段階と、
 - 前記特定に応答し、座標系間の変換を特定する段階と、
 - 前記第2のモデルの対象を変換してそれらが前記第1の座標系を用いるようにする段階とを備える方法。
- 1 6. 複数の点暗影及び幾何原図によって表された1又は2以上のモデルを選択する段階と、
 - 多数の点又は幾何原図の位置上の制約を特定する段階と、
 - 各ビューの点及び幾何原図を取り囲む人為的な値を作り、機械的な材肉特性を前記取り囲む値に割り当てる段階と、
 - 前記取り囲む値内の材料に関し最少のエネルギー構成を計算する段階であって、点又は幾何原図が埋め込まれていて前記構成がすべて適用された制約を満たす段階と、
 - 材料の前記取り囲む値の最少のエネルギー構成にしたがって前記点及び原図を置き換える段階とを含むワープ方法。
- 1 7. 請求項16の方法において、前記構成が閉鎖誤差を取り除くように特定されている方法。
- 1 8. 三次元シーンのモデルを発生する統合装置であって、
 - パルスレーザーを用いて三次元のシーンを走査する走査レーザー装置であって、
 - 光パルスが各パルス内で0.2 μ Jまでを持ち1ナノ秒より短く持

続し、

30 p s e c又はそれ未満の解像度で、各出力パルスとシーンの表面から戻る対応するパルスとの間の時間遅延を測定し、前記走査レーザー装置が更に走査の間に前記ビームの角度的方位を追跡して測定する走査レーザー装置と、

前記測定された時間遅延と角度測定値に基づいて点暗影を生成し、前記点暗影が、各々が前記表面上の対応する点の位置を表す複数の点からなる手段とを備える装置。

19. レーザーから出力されたパルスのフライト時間の監視を要求する装置内で測定電子構器の較正を行う装置であって、

一方の端部が前記レーザーの出力パルスを受け取り、既知の長さを持つシングルモードの光ファイバと、

前記パルスが前記ファイバを出る時を監視する前記ファイバの一方の端部に配置された検出器であって、それに応答して信号を発生し、前記信号が前記測定電子機器を通過するような検出器と、

前記ファイバを出るパルスの検出に基づいて前記ファイバの理論的長さを計算し、その計算された長さを前記ファイバの既知の長さと比較して前記測定電子機器を較正するプロセッサとを備える装置。

20. 請求項19の装置において、前記光ファイバはその各端部に部分反射器を備え、前記ファイバに入る各レーザーパルスごとにパルス列が前記ファイバを出る前記パルス列は前記測定電子機器を更に較正するために用いられる装置。

21. 請求項20の装置において、遅延測定電子回路を更に備え、前記パルス列はそれらの間に一定の遅延を持ち、それによって、前記パルス列の監視は前記遅延電子回路を較正するために用いることができる装置。

22. 請求項21の装置において、前記検出器によって監視されるパルスのパワーを変える手段を更に備え、前記検出器は、前記検出された光のパワーが既定のしきい値を越えると信号を生成するように機能し、前記プロセッサは、前記出力パルスのパワーの関数として、前記検出器によって出力された信号の発生の遅延の変化を追跡するように機能し、前記プロセッサは、更に、フライトの時間を監視するために用いられる連続パルスの測定パワーに基づいて前記遅延の測定を較正するように機能する装置。

23. 三次元の対象の表面点についての位置情報を得る装置であって、

出力ビームを発生するレーザーと、

前記対象の上を前記レーザービームを移動させる走査装置と、

前記レーザービームの反射の測定に基づいて前記対象までの距離を自動的

に測定する監視装置であって、前記レーザービームの角度的位置も追跡及び測定し、更に、最大100メートルの範囲に亘る1つの標準的な偏差における6ミリメートルと等しいかそれより良いような三次元空間内の各点ごとの位置の精度を持つ監視装置とを備える装置。

24. 請求項23の装置において、各距離測定は0.005秒下で行うことができる装置。
25. 請求項23の装置において、前記レーザーはパルス出力を生成し、パルスごとのエネルギーは0.2マイクロジュールより小さく、前記レーザーの平均出力パワーは僅かに1.0ミリワットである装置。
26. 対象までの距離を測定する装置であって、
出力パルスのレーザーを生成するレーザーと、
レーザービームの反射に基づいて前記対象までの距離を測定する監視装置であって、最大100メートルのその全体の範囲にわたる1つの標準的な偏差における6ミリメートルと等しいかそれより良い精度を持ち、各測定は0.005秒より短い時間で行うことができ、更に、前記レーザーは0.2マイクロジュールだけのパルスごとのエネルギーと1ミリワットだけの平均出力とを持つ装置。
27. 請求項26の装置において、前記対象は逆反射体を持ち、前記作動の範囲は最大1マイルである装置。
28. 遠隔の対象から三次元情報を捕捉する装置において、
前記対象の位置情報を測定するための走査レーザーモジュールと、
前記対象からのイメージ情報を捕捉するビデオモジュールと、
前記位置情報及び前記イメージ情報を含む前記対象のモデルを与えるプロセッサとを備える装置。
29. 請求項28の装置において、前記ビデオイメージ情報は、位置情報の測定と空間的に同時に収集される装置。
30. 請求項29の装置において、前記ビデオイメージ情報は、位置情報が得られる点に隣接する点から収集される装置。
31. 三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、
対象についての三次元位置情報を測定する走査モジュールと、
前記対象からイメージ情報を捕捉及び表示するビデオモジュールと、
前記走査及びビデオモジュールによって作動し、前記ビデオモジュールによって捕捉された前記イメージ情報を用いて、目標追跡の際に、前記走査モジュールを支援するプロセッサとを備える装置。
32. 請求項31の装置において、前記プロセッサは、目標とされる領域のビデオイメージの上のアウトラインのイメージをドラッグすることによって、

前記走査モジュールによって目標追跡される対象の一部を特定するように機能する装置。

33. 三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、
対象に関する三次元の位置情報を測定する走査モジュールと、
前記走査モジュールから得られたイメージ情報を表示するビデオモジュールと、
前記走査及びビデオモジュールによって作動し、前記ビデオモジュールによって表示された前記イメージ情報を用いて、前記走査モジュールの目標追跡をより詳細に行えるようにするプロセッサとを備える装置。
34. 三次元対象の表面の点に関する位置情報を得る装置であって、
対象に関する三次元の位置情報を測定し、また、可視放射線のビームを出力するレーザーを備える走査モジュールと、
前記走査モジュールを制御するプロセッサであって、前記レーザービームはマニュアルによって配置することができ、それにより、可視ビームが前記プロセッサからの制御信号に応答して走査すべき対象の一部を目標とするプロセッサとを備える装置。
35. 対象までの距離を測定するために用いられるレーザーによって生成された光ビームにおける周波数の変化を監視することを要求する装置において測定電子機器を校正する装置であって、
前記レーザーから光を受け取るように配置された一方の端部を持つシングルモードの光ファイバと、
前記ファイバを通過して移動するとともにそれから出る光を、前記ファイバを通して移動しない前記レーザーからの光を組合せて受け取るように配置された検出器と、
前記検出器によって測定された周波数の変化の均一性に基づいてビーム上の線形性を決定し、更に、結果を用いて前記測定電子機器を校正するプロセッサとを備える装置。
36. 請求項35の装置において、前記ファイバは既知の長さを持ち、又、前記ファイバは一方の端部に部分反射器を持ち、他方の端部には少なくとも部分反射器を持ち、前記ファイバ内を移動しなかった前記ファイバの一方の端部から反射された光が前記検出器によって測定され、前記プロセッサは、前記検出器によって測定された周波数変化に基づいて前記ファイバの理論的長さを計算するように機能し、更に、その計算された長さを前記ファイバの既知の長さと比較して前記測定電子機器を校正する装置。
37. 三次元対象をイメージング及びモデル化する装置であって、
遠隔対象の表面を走査するレーザービームを射出し、且つその対象の表面

上の点に対応するデータ点を記録するイメージングモジュールと、
前記データ点を対象の三次元イメージに変換するモデル化モジュールと、
対象の表面領域の識別及びその領域についての所望の解像度レベルの指定を含むコマンドを入力するユーザーインターフェースと、
前記イメージングモジュール、モデル化モジュール、及びユーザーインターフェースの操作を制御するプロセッサとを備え、このプロセッサは対象の全体的操作及び対象内の選択された領域の操作を生成できるように配置されると共に、前記モデル化モジュールは前記走査から成分イメージヘデータポイントを統合するように機能する装置。

38. 請求項37の装置において、前記領域の前記走査が、対象全体の走査とは異なる解像度を有する装置。
39. 請求項38の装置において、前記領域の前記走査が、対象の走査よりも高い解像度を有する装置。
40. 請求項37の装置において、対象のビデオイメージを得るカメラを更に備え、且つ前記ユーザーインターフェースが、前記対象のビデオイメージを表示するディスプレイを含むことにより、ユーザーが前記ビデオイメージから走査すべき対象の領域を識別可能とする装置。
41. 請求項40の装置において、前記モデル化モジュールにより生成された3次元イメージも前記ディスプレイ上に表示される装置。
42. 請求項37の装置において、前記モデル化モジュールにより生成された3次元イメージが、遠隔対象の部分に対応する幾何学的形状を含む装置。
43. 三次元対象をイメージング及びモデル化する方法であって、
 - a) 遠隔対象の表面をレーザービームで走査し、且つその対象の表面上の点に対応するデータ点を記録する段階と、
 - b) 前記データ点を対象の三次元イメージにモデル化する段階と、
 - c) 遠隔対象の表面領域を走査して、その領域内の対象の表面上の点に対応する付加的なデータ点を記録する段階と、
 - d) 前記走査からデータ点を三次元イメージに統合する段階とを含む方法。
44. 請求項43の方法において、段階cで実行される前記対象の領域の前記走査が、段階aで実行される走査よりも高い解像度で実行される方法。
45. 請求項43の方法において、段階aの走査が、段階cにおける領域の走査の前に実行される方法。
46. 請求項43の方法において、前記モデル化段階の間に生成された3次元イメージが、遠隔対象の部分に対応する幾何学的形状を含む方法。
47. 請求項43の方法において、
 - e) 前記対象のビデオイメージを捕捉する段階と、

f) ビデオイメージを表示し、段階 c において走査すべき領域が、対象のビデオイメージを参照として利用するユーザーにより選択される段階とを更に含む方法。

48. 請求項 47 の方法において、段階 e において走査のために選択された前記領域が、幾何学的形状に対応する対象の部分を含み、且つ付加的なデータ点が段階 d における幾何学的形状を改善するように用いられる方法。
49. 請求項 47 の方法において、領域に採られるべきサンプルの数を規定することにより、ユーザーが走査操作の密度を表示する方法。
50. 請求項 47 の方法において、隣接するデータ点の間の角度的分離を規定することにより、ユーザーが走査操作の密度を表示する方法。
51. 請求項 47 の方法において、コンピュータ支援設計システムへ入力可能な三次元イメージからデータファイルを形成する段階を更に含む方法。